



De la palatographie à l'électropalatographie : bilan des premières recherches

Denis Autesserre, Bernard Teston

► To cite this version:

Denis Autesserre, Bernard Teston. De la palatographie à l'électropalatographie : bilan des premières recherches. Travaux Interdisciplinaires sur la Parole et le Langage, 1978, 5, pp.5-69. hal-00285539

HAL Id: hal-00285539

<https://hal.science/hal-00285539>

Submitted on 27 Jun 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

TRAVAUX DE L'INSTITUT DE PHONETIQUE D'AIX

Volume 5, 1978. Pp. 5-69

DE LA PALATOGRAPHIE À L'ÉLECTROPALATOGRAPHIE
BILAN DES PREMIÈRE RECHERCHES

DENIS AUTESSERRE
BERNARD TESTON
(Université de Provence)

DE LA PALATOGRAPHIE A L'ELECTROPALATOGRAPHIE

BILAN DES PREMIERES RECHERCHES

D. AUTESSERRE ET B. TESTON

Après plus de cent ans d'utilisation de la palatographie, une certaine désaffection aurait pu se manifester, parmi les spécialistes de l'étude des langues, vis-à-vis de techniques qui avaient peu évolué dans leur principe jusqu'à ces dernières années. Or, il n'en est rien. Le caractère immédiat de l'interprétation d'un palatogramme restituant les contours de l'empreinte linguale sur le palais, lors de la production d'une séquence phonique, explique l'intérêt soutenu que manifestent, pour ce genre de documents, de nombreux linguistes : ceux-là même qui, par ailleurs, ne cachent pas leur désarroi devant le haut degré de raffinement auquel sont parvenues certaines recherches physiologiques, dont les possibilités d'application pour rendre compte du système phonique d'une langue particulière, n'apparaissent pas toujours à première vue. Il n'est pas jusqu'aux "linguistes de terrain" qui n'éprouvent encore le besoin de recueillir, sur les lieux-mêmes de leur enquête, des photographies élucidant les régions d'articulation de réalisations phoniques appartenant à des langues peu connues, et ceci grâce à la palatographie directe.

Certes, à vouloir interpréter de manière trop immédiate, et par là-même superficielle, des documents palatographiques, quelques néophytes ont été conduits à multiplier, dans leurs descriptions phonétiques, les références à des indices de lieu d'articulation dont l'assise paraît maintenant bien fragile lorsqu'elle n'est pas consolidée par la prise en considération de la forme générale de la langue au moment de l'articulation. Il convient de rappeler que les phonéticiens physiologistes, à une époque où la radiologie n'existait pas encore, s'étaient ingéniés à reconstituer les positions de l'organe lingual, en représentation sagittale médiane, d'après les contours des zones de contact linguo-palatines. D'autre part, la tradition s'est perpétuée

Nous tenons à remercier très vivement MM. BESSON et MOLLARD, docteurs en Sciences Odontologiques, MM. BOURRAT et SEIMANDI, techniciens de l'Institut de Phonétique et M. TALLET, prothésiste, pour l'aide qu'ils nous ont apportée tout au long de ces recherches.

jusqu'à nos jours de comparer plusieurs documents afin de décomposer l'image palatographique globale, pour y retrouver l'ordre de succession des contacts linguaux : par exemple, en comparant les palatogrammes de séquences phoniques où la même consonne apparaît dans un environnement vocalique variable.

Malgré la finesse de ces interprétations, dont le bien-fondé a été démontré, plus récemment, par le recours à des techniques d'investigation radiologiques, le besoin se faisait sentir de disposer d'une palatographie plus dynamique, par laquelle le chercheur serait capable de suivre directement la succession, dans le temps, des régions de contact entre la langue et le palais, sans limites d'aucune sorte. Ceci est désormais possible grâce à l'électropalatographie qui, après un lent démarrage, il y a une quinzaine d'années, s'est hissée maintenant au rang des techniques de pointe en phonétique physiologique.

Que l'on pense à l'incalculable ensemble de données sur le fonctionnement des langues parlées - particulièrement en ce qui concerne les phénomènes de coarticulation linguale - que vont nous apporter, dans les années qui viennent, l'utilisation simultanée de l'électropalatographie et de la radio-cinématographie (l'enregistrement du signal sonore, synchronisé avec chaque image radiologique, permettant de procéder, simultanément, à toutes les analyses acoustiques et aux tests perceptifs complémentaires.) !

Ce vaste programme de recherches, entrepris depuis 1975 à l'Institut de Phonétique d'Aix, laboratoire associé au C.N.R.S., a abouti, dans une première étape, à la mise au point d'un système électropalatographique dont nous voudrions rappeler les caractéristiques techniques et les conditions d'utilisation, les diverses modalités de détection et de traitement des données, tout en dégagant l'originalité de cette instrumentation par rapport aux autres appareils existants.

1. L'INSTRUMENTATION

L'électropalatographe se compose de deux grandes parties connectées entre elles :

1°) - une plaque palatine équipée d'électrodes reliées à des fils électriques isolés,

2°) - un système électronique qui comprend :

. un générateur de tension alternative,

. une unité de détection et de traitement des signaux des électrodes palatines.

1.1. LA PLAQUE PALATINE

Si les circuits électroniques des divers types d'électropalatographes sont décrits de manière détaillée (cf. par exemple W.L. Kydd et D.A. Belt - 1964 -, W. Hardcastle - 1972 -), les renseignements concernant la plaque palatine ne sont fournis qu'avec une extrême discrétion. Pourtant, comme l'avait montré la polémique, maintenant ancienne, entre partisans de la palatographie directe (ou technique du badigeonnage lingual) et partisans de la palatographie indirecte (utilisant un "palais artificiel"), le fait de disposer une plaque d'une certaine épaisseur contre le palais dur, n'est pas sans effets sur la production de la parole. Et, alors que la plupart des phonéticiens sont maintenant convaincus de la supériorité de l'examen direct, surtout avec le degré de perfection actuel de la photographie intra-buccale, voici que l'électropalatographie confronte à nouveau les chercheurs aux problèmes délicats de l'emploi des plaques palatines ! Bien sûr, les conditions d'élaboration des "palais artificiels" ont changé, ces dernières années, profitant largement des progrès réalisés dans l'art dentaire. Il n'en demeure pas moins que la diffusion de l'électropalatographie est en grande partie freinée par la difficulté de mise au point des plaques palatines. En effet, passer à une utilisation intensive et parfaitement fiable de cette technique, sur le plan physiologique, présuppose que des réponses satisfaisantes aient été apportées préalablement aux questions que nous pourrions formuler ainsi :

- Les "palais artificiels" épousent-ils parfaitement les contours de la morphologie palatine et dentaire du sujet appareillé, sans toutefois comprimer la muqueuse palatine ni modifier l'ouverture buccale ?

- L'épaisseur nécessaire de la plaque, si l'on veut être prémuni contre des déformations ultérieures toujours possibles, ne donne-t-elle pas lieu à des compensations quant aux positions et aux mouvements de la langue du sujet parlant, ou encore à des modifications d'ouverture par un abaissement plus marqué de la mandibule ? Le fait que l'on s'habitue au port de prothèses dentaires, certes avec des modifications variables de la voix, nous laisserait supposer la mise en place de processus d'adaptation dont la stratégie a fait l'objet, récemment, d'une étude très intéressante de S.L. Hamlet et M. Stone (1978).

- Le moyen de rétention utilisé (en général, des crochets métalliques) assure-t-il une bonne tenue en bouche, en cours d'expérimentation, compte tenu d'un déplacement possible pendant les phases de déglutition ?

- Est-il nécessaire de prévoir un remplacement fréquent des plaques en raison du mauvais vieillissement du matériau utilisé et des déformations qui en découlent ?

- La jonction des électrodes avec la plaque palatine est-elle suffisamment étanche pour empêcher, à plus ou moins long terme, tout risque d'infiltration, par capillarité, de la salive, le long des fils électriques de liaison ?

- Peut-on, sans risque de détérioration, parvenir à une hygiène parfaite de la plaque ? Dans le cas contraire, sa réutilisation, lors d'ex-

périences se situant à des moments espacés du temps, ne présenterait-elle pas des dangers pour le sujet (risques d'infection buccale) ?

Afin d'apporter quelques éléments de réponse à certaines de ces questions cruciales, plusieurs séries d'examen palatophotographiques ont été réalisées, et ceci, à chaque étape de la mise au point des plaques d'electropalatographie.

1.1.1. Délimitation des zones de contact linguales et choix d'une découpe de la plaque palatine.

A l'aide de la palatographie directe, on procède chez un même sujet D.A. (idiolecte "pied-noir" méridionalisé !), à un recensement systématique de toutes les régions dentaires, palatines et vélaires touchées par la langue, lors de la production des réalisations vocaliques ou consonantiques linguales de cet usage du français.

Afin de faciliter les comparaisons, les éléments phoniques analysés sont placés dans des positions semblables. Ainsi les voyelles apparaissent toujours en fin de séquences qui ne donnent pas lieu à un contact palatin : la voyelle [a] suivie (et éventuellement précédée aussi) d'une consonne labiale (bilabiale [p], [b], [m] ou labio-dentale [f], [v]). Exemple : la voyelle [i] est présentée dans le mot "avis", prononcé [avi]. Pour tenir compte des contraintes distributionnelles d'occurrence des timbres vocaliques dans cet usage du français, les voyelles ouvertes sont immédiatement suivies d'une consonne labiale. Exemple : "o ouvert", [ɔ], est prononcé dans la suite de mots "pas pomme" [papɔm]. Les consonnes linguales, elles aussi, se trouvent dans des positions comparables : précédées de la voyelle [a] (et éventuellement aussi d'une consonne labiale) et suivies successivement de chacun des différents timbres vocaliques du français. Là encore, pour faire produire des timbres vocaliques ouverts, la voyelle est accompagnée d'une consonne labiale. Exemple : la consonne [d] est étudiée devant la voyelle fermée [ø] dans la séquence [padø] "pas d'oeufs" et devant la voyelle ouverte correspondante [œ] dans la suite de mots "pas d'oeuf" [padœf].

Les séances de palatophotographie, étalées sur plusieurs jours, se déroulent toujours de la même façon : le sujet, après qu'on lui ait déposé sur la langue une fine pellicule de pâte colorante (constituée d'un mélange de noir d'acacia et de chocolat en poudre, additionné d'eau), prononce l'une des séquences phoniques retenues, puis se rince la bouche avant qu'il soit procédé à l'examen suivant. On photographie chaque empreinte laissée par la langue sur le palais, à l'aide d'un miroir éclairé, introduit dans la cavité buccale (selon la technique décrite par J.K. Anthony en 1954). Les clichés obtenus sont développés et agrandis à la même échelle en fonction de deux types de mesures prises en bouche sur le sujet et qui correspondent aux mensurations classiques pour la détermination des indices de Pont (Chateau, 1970) : la largeur prémolare (37 mm sur nos documents), mesurée entre les milieux des sillons intercuspidiens des premières prémolaires supérieures gauche et droite, et la largeur molaire, évaluée à partir des centres des faces occlusales des premières molaires gauche et droite (49 mm pour D.A.).

Les agrandissements photographiques, ainsi calibrés pour les voyelles, sont regroupés sur une même planche en fonction du lieu d'articulation et de l'aperture buccale, selon la représentation traditionnelle du triangle vocalique. Les réalisations d'une même consonne sont rassemblées de la même façon, en tenant compte du timbre variable de la voyelle subséquente.

A l'issue de la comparaison à l'aide de calques millimétrés, on remarque que toutes les zones de contact recensées, pour l'arcade supérieure, se trouvent comprises, chez ce locuteur, à l'intérieur des limites fournies par les empreintes linguales de quatre séquences phoniques (Fif. 1). La limite la plus antérieure par rapport aux dents (bloc incisivo-canin) est tracée lors de la réalisation du mot "battez" [bate] et se situe au niveau de la partie supérieure du tiers moyen (selon la terminologie de E. Marseillier, 1971) des incisives centrales, latérales et des canines supérieures.

A l'opposé, la limite la plus postérieure, sur le voile du palais (en excluant les réalisations de [ɛ] difficiles à recueillir et à interpréter, comme l'avait déjà souligné M. Durand, dans un article de 1929), s'obtient par la prononciation de la suite de mots "pas comme" [pakəm]. Latéralement, les faces palatines des prémolaires et des molaires recueillent les contacts des bords de la langue. La limite extrême, très nette pour "battez", [bate], se trouve au fond de la gouttière formée par l'ensemble des faces occlusales des prémolaires et des molaires. (On laissera de côté les cas, non significatifs, de propagation du produit colorant dans les sillons des molaires à orientation linguo-vestibulaire). Les bords de la langue se rapprochent le plus du fond de cette gouttière au niveau des premières molaires et s'en écartent en allant vers les troisièmes molaires, où le contact s'établit seulement sur la face palatine des dents.

Les empreintes linguales situées vers l'intérieur, en se rapprochant le plus de la voûte palatine, sont circonscrites par deux réalisations : celle du mot "agneau", prononcé [ano], pour la partie antérieure, et celle du mot "maquis" [mak⁺i] pour les limites postérieures et latérales (droite et gauche).

Ainsi, afin d'enregistrer le maximum d'informations concernant les zones de contact linguales, la plaque palatine de l'électropalatographe devrait avoir, au minimum, une découpe correspondant au tracé général présenté sur le cinquième cliché de la figure 1. Vers l'avant et sur les côtés il conviendra d'assurer un recouvrement partiel des couronnes dentaires, préférable à la découpe selon le feston des collets, généralement adoptée pour les "palais artificiels" en palatographie indirecte.

Le problème le plus délicat, auquel sont confrontés journellement les spécialistes de prothèse totale de l'arcade alvéolaire supérieure, concerne la délimitation postérieure de la plaque palatine : il s'agit dans ce cas de la limite fonctionnelle entre la région non mobile du palais dur et la partie mobile du voile (le postdam des dentistes). Pour de nombreux sujets, il est même recommandé de se tenir en avant (de 1 à 4 mm) du postdam. D'où la difficulté d'enregistrer la totalité des empreintes laissées par les consonnes occlusives postérieures, telles que [k] et [g] lorsqu'elles sont

suivies de voyelles postérieures ouvertes (Fig. 1, cliché 2). Même chez des sujets qui donnent l'impression de tolérer une plaque plus étendue vers l'arrière et bien fixée, grâce à une rétention vestibulaire, le fait d'empiéter sur le voile, combiné à une épaisseur plus importante de la plaque, risque d'avoir une incidence sur ces mêmes réalisations phoniques ; comme on le verra plus loin (Fig. 3, 5). La gêne ressentie peut se traduire par un recul de la langue qui entraîne une postériorisation des zones de contact : ce qui est exactement l'inverse du but recherché. Ainsi, pour de nombreux locuteurs, seule une partie des régions d'occlusion de [k⁺] ou de [g⁺] suivies de voyelles antérieures (et fermées) pourra être enregistrée.

1.1.2. Choix d'une technique de mise au point des plaques palatines.

Après ce qui vient d'être constaté, concernant les limites d'examen, le futur utilisateur de l'électropalatographe s'attendra à obtenir les meilleurs résultats dans le cas de réalisations phoniques produites dans la partie antérieure du palais, principalement dans la région alvéolaire retro-incisive supérieure. Il conviendra donc de recourir à une technique qui assurera la meilleure restitution possible de ces zones dento-alvéolaires où s'articulent un nombre important de consonnes en français ([t], [d], [n], [s], [z], [l], [ʃ], [ʒ]).

Deux grands types de plaques palatines peuvent être confectionnées :

- les plaques en résine acrylique, réalisées selon la technique de la "cire perdue"

- les plaques d'"Imprélon", obtenues à partir d'un façonnage thermoplastique par compression.

1.1.2.1. Les "palais artificiels" en résine.

Une plaque de cire Esvé, calibrée, est ramollie et appliquée sur le modèle de l'arcade dentaire supérieure. Le contour suit la partie supérieure du tiers moyen des incisives et des canines vers l'avant et le bord palatin des faces occlusales des prémolaires et des molaires (ou dans certains cas la ligne du collet de ces dents). Il s'arrête postérieurement au niveau de la ligne du postdam ou un peu en avant. Sur chaque demi-arcade deux crochets simples en jonc sont ajustés de façon à assurer une rétention suffisante de la plaque. On pratique alors la mise en moufle et le bourrage avec une résine transparente et incolore.

Deux types de plaques ont été ainsi réalisées :

- l'une de 0,6 mm, transparente et dépolie : PLIR 1.
- l'autre de 0,8 mm, recouverte de peinture noire mate : PLIR 2 ("palais artificiel" traditionnel pour l'examen palatographique indirect).

L'inconvénient majeur de l'utilisation de ces plaques de résine, c'est que les papilles palatines sont restituées en creux (ce qui modifie les sensations tactiles de la pointe et de la partie prédorsale de la langue). Pour obtenir une reconstitution en relief de ces papilles, il faudrait procéder à une double manipulation : couler deux fois l'empreinte pour réimprimer le palais en plâtre dur, réaliser un contre-moule et imprimer les papilles dans la plaque de cire ramollie.

1.1.2.2. Les plaques d'Imprélon.

Le procédé employé résulte de la collaboration des firmes de matériel dentaire ouest-allemandes BIOS GESELLSCHAFT OSNABRUCK et SCHEU DENTAL LETMATHE. Il consiste en un façonnage thermoplastique par compression de plaques ou de feuilles de matériaux variables quant à leur épaisseur, leurs dimensions et leur dureté. Les meilleurs résultats s'obtiennent avec des plaques extra dures et transparentes, de 0,5 mm d'épaisseur en acrylate prépolymérisé absolument exempt de monomère résiduel, désignées par le terme d'"Imprélon".

La confection des plaques palatines est d'une grande simplicité : on place le modèle sur le plateau de l'appareil BIOSTAR. La feuille d'Imprélon, bloquée par un système à baïonnette sur la chambre à compression, est chauffée à l'aide d'un diffuseur d'infra-rouges puis, une fois suffisamment chaude, rabattue sur le modèle. Le verrouillage de l'ensemble déclenche l'admission d'air comprimé dans la cuve et entraîne, de cette façon, le façonnage de la plaque. L'ouverture du clapet de sécurité assure la décompression et le refroidissement rapide par circulation d'air frais.

A ce stade de fabrication, la plaque d'imprélon s'ajuste avec une extrême précision sur le modèle en plâtre, recouvrant entièrement les dents et aussi la totalité des régions vestibulaires. Il aurait été peu judicieux de ne pas en tirer parti : la contre-dépouille des collets et du vestibule constitue la plus simple mais aussi la meilleure des rétentions possibles et dispense d'utiliser des crochets métalliques. Par contre, le recouvrement vestibulaire des incisives, qui aurait pu donner lieu à des modifications de l'ouverture buccale en phonation, a été supprimé.

Le tracé de découpe de la plaque palatine (Fig. 7.1) est celui qui se rapproche le plus des limites idéales de la figure 1, 5 : il s'arrête en avant au niveau du tiers moyen de la face palatine des incisives, puis il recouvre les canines, les prémolaires et les molaires et remonte assez haut dans le vestibule, jusqu'à environ 10 mm des collets des molaires, englobe les tubérosités vers l'arrière. La bonne rétention de la plaque a permis de repousser le postdam à la limite de ce qui était accepté par le sujet.

Les "palais artificiels" ainsi réalisés présentent l'avantage de reproduire très fidèlement la morphologie palatine, les papilles alvéolaires et les reliefs des couronnes dentaires. Deux plaques d'Imprélon d'épaisseur différente ont été confectionnées :

- l'une, PLII 1, de 0,3 mm au sommet de la voûte palatine (étirement du matériau), (feuille d'imprélon de 0,5 mm)

- l'autre, PLII 2, de 0,6 mm au sommet de la voûte palatine (feuille d'imprélon de 1 mm).

1.1.3. Contrôle des différents types de plaques à l'aide de la Palatophotographie indirecte :

Une nouvelle série d'examens palatophotographiques est entreprise en utilisant les différents types de plaques confectionnées (résine et imprélon) pour recueillir les contacts de la langue (technique indirecte). Le même produit colorant que pour les examens directs est employé sur les plaques 2, 3 et 4 (Fig. 2). Une variante est introduite avec la plaque 6, qui est saupoudrée de dentifrice blanc, enlevé par la langue lors de ses appuis.

Il s'agit de mettre en évidence les modifications éventuelles des surfaces de contact lingual qui résultent de l'utilisation des intermédiaires palatins et qui peuvent être fonction de la technique d'élaboration des plaques, de la découpe retenue, du type de matériau sélectionné et de son épaisseur.

Pour servir de base à ces comparaisons, trois consonnes ont été choisies : [t] , [l] , [k] , présentées toutes trois dans un environnement vocalique identique, à savoir, dans les mots ou groupes de mots suivants : "mata" [mata] (Fig. 2), "pas là" [pala] (Fig. 3), "vaqua" [vaka] (Fig. 4). Sur la figure 5 on retrouve les tracés recueillis avec la plaque en résine acrylique (PLIR 1), mais inversés : les photographies sont prises sur le moulage et non plus en bouche. Les clichés de profil, sur cette même figure, montrent tout l'intérêt d'utiliser des plaques transparentes qui permettent d'apprécier le degré d'élévation, par rapport au sommet de la voûte palatine, des contacts des bords de la langue.

1.1.3.1. Résultats obtenus pour la séquence phonique [mata] (Fig. 2)

Le tracé le plus proche de celui que fournit l'examen palatophotographique direct, est recueilli par la plaque d'imprélon de 0,3 mm. On y remarque même, dans la région alvéolaire antérieure, une discontinuité dans le dépôt du produit colorant qui prouve bien que la langue n'a pas été gênée lors de son appui. On ne peut pas en dire autant des autres réalisations : le produit colorant, réparti de manière plus homogène, donne alors l'impression que la langue est venue s'écraser contre la plaque. Le modèle en résine acrylique PLIR 1 provoque, en plus, un recul du lieu d'articulation. La représentation la plus mauvaise, comme on pouvait s'y attendre, est fournie par la plaque la plus épaisse en résine acrylique.

1.1.3.2. Tracés relevés pour la séquence phonique [pala] (Fig. 3)

Les résultats les plus proches de la réalisation palatophotographique directe sont obtenus avec la plaque d'imprélon de 0,3 mm. On notera toutefois un léger déplacement vers l'avant du lieu d'articulation. Dans les autres cas, les zones de contact de la pointe de la langue s'élargissent. En comparant les plaques de même épaisseur, mais de découpe différente PLII 2 et PLIR 1, on remarque des contacts latéraux plus importants avec la plaque d'imprélon. Ceci est dû à l'épaisseur plus grande du matériau recouvrant les couronnes dentaires.

1.1.3.3. Tracés enregistrés lors de la prononciation du mot "vaqua" [vaka] (Fig. 4)

L'épaisseur de la plaque semble jouer un rôle moindre que dans les deux cas envisagés précédemment. Le recul très net de la région d'occlusion médiane, avec les modèles en imprélon, même le plus fin, provient surtout, semble-t-il, du fait que ces plaques empiètent trop sur le voile. On remarquera que cette postériorisation est moins importante avec les plaques de résine acrylique dont le tracé de découpe est plus proche du postdam, surtout pour PLIR 2. Mais dans ce dernier cas on n'enregistre plus la région d'occlusion.

1.1.3.4. Bilan de cette expérimentation

Ces différents contrôles palatophotographiques indirects confirment bien les craintes que l'on pouvait avoir quant à l'utilisation des plaques palatines pour recueillir les contacts linguaux. Comme il fallait s'y attendre, on obtient de mauvais résultats avec des plaques relativement épaisses, 0,6 mm et plus. Un enseignement nouveau peut être tiré de cette exploration : l'importance de la découpe postérieure. Toute gêne ressentie par le sujet, dans la région limite entre le palais dur et le voile, risque d'entraîner des positions anormales de la langue (postériorisation). D'autre part, si le recouvrement dentaire s'avère très utile, en assurant une bonne rétention du palais artificiel, il conviendra toutefois de vérifier s'il ne donne pas lieu à une modification d'ouverture buccale : c'est ce qui s'est produit lors de la réalisation de la consonne [s], comme en témoigne la radiographie de la figure 19 (mais le sujet avait en bouche une plaque de 0,8 mm). La représentation la plus fidèle des contacts linguaux (mis à part le problème du tracé de découpe postérieure) ayant été restituée par la plaque d'imprélon de 0,3 mm, c'est elle qui a été équipée avec les électrodes.

1.1.4. Les électrodes palatines.

1.1.4.1. Localisation sur les moulages.

La place de chaque électrode est déterminée par une série de points dessinés sur le moulage de l'arcade dentaire supérieure, en tenant compte des résultats fournis par l'exploration palatophotographique directe menée de façon systématique. La figure 6 regroupe les principaux types de tracés obtenus, pour un certain nombre de réalisations phoniques, à partir desquelles a été effectuée la répartition des électrodes sur les trois prototypes de plaques d'électropalatographie ELPA 1, 2 et 3 (Fig. 7 et 8). Ainsi pour ELPA 3, les points D 1 et G 1 localisent des électrodes qui devront se déclencher lors de la prononciation du mot "mata" [mata], mais non pour la production du mot "passa" [pasa]. De même, dans le cas de ELPA 2, les points D 14 et G 20 situent des électrodes qui devront se déclencher, si l'on en juge par le tracé obtenu en palatophotographie directe, lors de la réalisation de la consonne [k] dans le mot "vaqua" [vaka]. En procédant de cette manière, il est possible aussi de tester la fiabilité de la détection des signaux provenant des électrodes palatines. Pour la mise au point de la dernière plaque ELPA 3, les points localisant les électrodes ont été disposés systématiquement de part et d'autre du raphé médian du palais, afin d'enregistrer les cas d'assymétrie des contacts linguaux, déjà bien visibles en palatophotographie directe (Fig. 6). Lorsque la place de tous les points a été prévue sur le moulage, il ne reste plus qu'à le recouvrir de la plaque d'imprélon de 0,3 mm et à disposer, par transparence, les électrodes à même la plaque, aux endroits voulus.

1.1.4.2. Confection des électrodes.

Pour confectionner chaque électrode on prend des brins de fils de cuivre émaillés de 0,1 mm de diamètre. L'émail protecteur est dégagé à la flamme à l'une des extrémités de chacun de ces fils et le diamètre de la partie découpée est augmenté jusqu'à obtenir une petite boule de cuivre de 0,6 mm de diamètre. Chaque petite boule est fixée sur la plaque ainsi que sur le fil de liaison à l'aide d'une colle spéciale. Les fils, rassemblés de part et d'autre de l'arcade dentaire, au niveau de chaque tubérosité (Fig. 7, 2), sont introduits dans une gaine thermoréductible. Cette gaine, maintenue en place par le même type de colle, prend en charge les faisceaux de fils dans le vestibule, à la hauteur du collet de la troisième molaire, et les maintient en place jusqu'à la canine. Une fois l'appareil en bouche, chacune des deux gaines sort de la cavité buccale par la commissure labiale correspondante.

1.1.4.2. Nombre d'électrodes

Trois prototypes ont été réalisés successivement. Le premier, ELPA 1 ne comportait que 12 électrodes, le deuxième, ELPA 2, en regroupait 38. On est revenu à 16 électrodes avec la mise au point de ELPA 3 (l'unité de traitement à laquelle est connectée chaque plaque n'autorise que le branchement de 16 électrodes en même temps).

1.1.5. Mise au point définitive des plaques palatines de l'électropalatographe et dernier contrôle palatophotographique indirect.

A ce stade d'élaboration des plaques palatines, des réponses satisfaisantes ont été apportées à la plupart des questions posées préalablement : tant en ce qui concerne le respect de la morphologie palatine, que l'épaisseur et la rétention de chaque plaque. Par contre, étant donné la fragilité des électrodes, des difficultés risquaient de surgir au moment de leur exploitation : rupture des boules de cuivre ou des fils de liaison. De ce fait, l'hygiène d'un tel dispositif ne pouvait être assurée parfaitement.

Pour gagner en robustesse et protéger les fils et les électrodes, nous avons été conduits à employer une deuxième plaque, façonnée elle aussi selon la technique Biostar et collée à la première à l'aide d'acrylique. Même en faisant intervenir l'étirement du matériau, qui se produit lors du chauffage de la feuille d'imprélon, la nouvelle plaque sous sa forme définitive avoisine 0,8 mm d'épaisseur. Les électrodes, elles aussi comprises entre les deux feuilles d'imprélon, sont débarrassées de la couche de plastique qui les recouvre, à l'aide d'une pointe extra fine. Une fois testée la conductibilité de chacun des fils parvenant à une électrode, l'appareil est fin prêt à l'emploi.

Un dernier contrôle, opéré à l'aide de la palatophotographie indirecte (cliché 5 sur les figures 2, 3, 4), fait ressortir une influence certaine de l'épaisseur de la plaque sur les réalisations obtenues, qui se manifeste par une postériorisation et un élargissement des zones de contact lingual. D'autre part, une plaque trop épaisse ne permet plus de tirer tout le parti escompté de la technique de façonnage thermoplastique.

1.1.6. Perspectives d'amélioration des plaques de l'électropalatographe

La technique Biostar de mise au point des plaques palatines, par façonnage thermoplastique, s'est avérée d'une nette supériorité pour des plaques de faible épaisseur (0,3 mm). De nouveaux perfectionnements nous permettent maintenant de réaliser des plaques de 0,4 mm, une fois équipées des

fils de liaison et des électrodes, et ceci en déposant une fine pellicule de colle "acrysive" sur l'intra dos. Le tracé de découpe postérieur a été ramené à 1 mm en avant du postdam.

Cette première phase de nos recherches n'a pas été entièrement négative puisqu'elle nous a fait prendre conscience des principaux problèmes que pose l'utilisation des plaques palatines en électropalatographie. Malgré les nombreuses imperfections relevées, ces plaques ont servi de banc d'essai pour tester le système électronique dont nous allons rappeler le principe et préciser les conditions d'élaboration.

1.2. LE SYSTEME ELECTRONIQUE

L'électropalatographe mis au point (Fig. 9) reprend le principe de fabrication proposé par Kydd et Belt (1964).

1.2.1. Générateur de tension alternative.

Le fonctionnement de ce type d'électropalatographe ne nécessite qu'une seule source de signal d'excitation (Fig. 10), constituée par un courant alternatif d'une fréquence de 20 KHz, envoyé dans le corps du sujet au moyen d'une électrode fixée à son oreille. L'alimentation de cette électrode est assurée par un générateur de signaux sinusoïdaux, comportant un oscillateur stable en fréquence et un amplificateur à contrôle automatique de gain. Le courant de sortie est limité à 500 micro-ampères, par l'intermédiaire d'un circuit approprié. La tension, à la sortie du générateur, varie selon une résolution infinie de 0 à 10 volts crête à crête.

1.2.2. Unité de traitement des signaux provenant des électrodes palatines.

L'avantage essentiel du type d'électropalatographe imaginé par Kydd et Belt est de permettre le traitement des signaux, issus des électrodes palatines (et correspondant eux-mêmes aux contacts linguo-palatins) au moyen de circuits relativement simples et tous identiques (Fig. 11). Ces derniers possèdent un amplificateur de tension de grande impédance d'entrée (supérieure à 5 M ohms), suivi d'une filtre passe bande à fort coefficient de surtension, calé exactement à la fréquence d'oscillation du générateur. Un détecteur de seuil, constitué d'un comparateur à hystérésis, permet de n'obtenir des impulsions que lorsque le signal d'entrée dépasse un certain

seuil, fixé de manière identique pour toutes les électrodes. Ces impulsions, une fois déclenchées, sont triées au moyen d'un filtre temporel et envoyées, par l'intermédiaire de circuits d'isolement opto-électriques, dans un système d'échantillonnage et de mémorisation. Cette fréquence d'échantillonnage étant de 100 Hz, la représentation des contacts linguo-palatins est assurée toutes les 10 milli-secondes. Le déclenchement de la mise en mémoire peut se faire à tout moment. Il permet à l'expérimentateur de disposer des 150 dernières représentations antérieures à ce déclenchement. D'autre part, différents interfaces assurent l'envoi en parallèle des signaux des diverses électrodes, dans trois directions :

- vers un panneau d'affichage
- vers un enregistreur galvanométrique
- vers un calculateur, après multiplexage des contacts.

1.2.3. Précautions particulières de sécurité.

La même instrumentation devant être employée par des personnes différentes et dans des conditions variées, il a semblé très important de veiller à la sécurité électrique lors de l'utilisation de l'électropalatographe. Dans ce but, on a tenu compte, au moment de la mise au point des circuits électriques, des normes de sécurité définies pour les applications médicales. Le générateur de fréquence est isolé de l'installation générale au moyen de circuits analogiques prévus à cet effet. Des circuits de protection particuliers limitent la tension et le courant de sortie de ce même générateur. Les contacts palatins, compte tenu de leur grande impédance d'entrée, sont protégés contre les surtensions accidentelles. Des coupleurs opto-électriques isolent les amplificateurs, les filtres et les comparateurs du reste de l'installation.

2. DETECTION ET VISUALISATION DES SIGNAUX DES ELECTRODES PALATINES.

2.1. FIABILITE DE LA DETECTION DES CONTACTS

Dès les premiers essais, réalisés avec les plaques électropalato-graphiques, ont surgi des problèmes délicats de déclenchement de contacts qui, de toute évidence, n'étaient pas provoqués par des appuis linguaux. Une première tentative d'explication de ces difficultés, faisant intervenir la localisation des électrodes sur le palais, à des endroits où elles ne pouvaient être qu'effleurées (par exemple dans les sillons situés entre les papilles de la région alvéolaire), s'est vite avérée insuffisante : d'autres électrodes, correspondant à des appuis linguo-palatins plus francs, présentaient les mêmes problèmes de déclenchement. Lors de nouvelles expériences, effectuées sur d'autres locuteurs, sont apparus des écarts importants dans le réglage des seuils de détection.

C'est en passant en revue les causes possibles de ces modifications de déclenchement qu'il s'est avéré nécessaire de faire intervenir la conductivité différente de la salive selon les individus. Pour la mettre en évidence des expériences ont été réalisées sur dix sujets pris au hasard, en procédant toujours de la manière suivante : des gouttes de salive, prélevées sur chacun de ces sujets, sont déposées sur deux électrodes de 1 mm de diamètre et distantes de 2,54 mm. On mesure alors la résistance entre les deux électrodes à l'aide d'un pont d'impédance General Radio Type 1656, excité par un signal alternatif de 20 KHz. Des différences importantes de conductivité de la salive, en fonction des sujets, peuvent être ainsi remarquées (Fig. 12). Une deuxième série d'expériences est effectuée en utilisant la même instrumentation mais en mesurant, cette fois-ci, la résistance entre l'électrode d'émission et une électrode palatine en contact effectif avec la langue. La comparaison des résultats obtenus pour ces deux types de mesures démontre bien que, dans presque tous les cas (il y a tout de même une exception), la résistance totale du circuit, électrode d'émission - langue - électrode palatine, est inférieure à la résistance provoquée par la conductivité de la salive entre deux électrodes contigües.

2.1.2. Réglage du seuil de détection du signal des électrodes

Il est donc apparu nécessaire de pouvoir régler précisément le niveau du signal des électrodes et d'en maintenir l'amplitude de façon particulièrement stable. Pour cette raison, le générateur a été équipé d'un contrôle automatique de gain qui autorise une stabilité en amplitude de 0,1 %. Les fréquences de coupure des filtres ont été alors calées exactement à la fréquence d'oscillation du générateur.

D'autre part, afin d'éviter une perte de gain des filtres, occasionnée par le vieillissement de leurs éléments, on a eu recours à un circuit connu pour sa faible dérive en fonction des composants qui le constituent. Le détecteur de seuil est un comparateur auquel on a donné une hystérésis afin de lui éviter des déclenchements erratiques sur des niveaux mal

définis par rapport au seuil. Enfin, pour supprimer des déclenchements accidentels, qui risqueraient encore de se produire malgré toutes les précautions prises, le comparateur est suivi d'un filtre temporel, qui élimine toute impulsion inférieure à la période de l'oscillateur (50 microsecondes). Cet ensemble de précautions permet un fonctionnement plus fiable de l'appareil, surtout en ce qui concerne la finesse de restitution des contacts langue - électrodes.

2.2. VISUALISATION DES CONTACTS

2.2.1. Panneau lumineux.

Dans un premier temps, la visualisation des contacts linguo-palatins a été assurée au moyen de panneaux constitués de photographies agrandies (4 fois) des diverses plaques d'électropalatographe mises au point précédemment, ELPA 1, 2 et 3 (Fig. 13, ELPA 1). A la place des électrodes, des orifices ont été ménagés, sur la reproduction photographique, pour permettre le passage de diodes électro-luminescentes reliées à l'électropalatographe. Chacune de ces petites ampoules s'allume lorsque la langue établit un contact avec l'électrode située à la même place sur la plaque palatine. Cette représentation est particulièrement adaptée à deux des applications possibles de l'électropalatographie : enseignement des langues et rééducation orthophonique.

Grâce à la possibilité de mise en mémoire, ce moyen de visualisation, appliqué à un grand nombre de contacts, pourra remplacer avantageusement la palatographie traditionnelle puisqu'il n'est plus nécessaire de procéder, dans ce cas, à un badigeonnage de la langue et que l'on peut fixer ainsi la représentation d'une articulation extraite, à tout endroit et à n'importe quel moment, de la chaîne parlée.

Pour suivre de manière dynamique la succession dans le temps des zones de contact linguo-palatines, au cours de l'émission de séquences phoniques, il est possible de cinématographier, avec une synchronisation parfaite son - image, les phases successives d'éclairement et d'extinction des différentes ampoules que l'on saisira mieux en projetant après coup les vues correspondantes, au ralenti, et en allant même, si cela est nécessaire, jusqu'à un arrêt sur l'image. On peut avoir recours, dans la même perspective, à un magnétoscope disposant lui aussi d'un arrêt sur l'image (Fig. 14).

2.2.2. Enregistrement sur oscillographe galvanométrique

Au niveau de la recherche fondamentale, la meilleure représentation des déclenchements successifs des contacts issus des électrodes palatines est obtenue à l'aide d'enregistreurs galvanométriques. En faisant défiler à une même vitesse, 250 mm/s, deux oscillogrammes SIEMENS L, on peut enregistrer simultanément jusqu'à six tracés provenant de signaux fournis par des électrodes situées à des endroits différents du palais (Fig. 17, partie droite du cliché).

Ce type d'enregistrement est satisfaisant lorsqu'il s'agit de rendre compte de la succession temporelle des régions de contact linguo-palatines, il l'est moins lorsqu'il est nécessaire de restituer immédiatement leur localisation précise sur le palais. (C'est pour compenser ce manque d'information que des photographies des deux hémis-arcades dentaires supérieures ont été ajoutées aux tracés oscillographiques proprement-dits (Fig. 15, 16 et 18)).

2.2.3. Perspectives futures : Enregistrement et traitement des données par ordinateur.

D'après les travaux déjà existants, il est certain que la meilleure visualisation et le traitement le plus satisfaisant des données ne pourront se faire qu'à l'aide d'un ordinateur. La connexion effective de l'électropalatographe sur le ordinateur S. E. M. S. T 1600 est en cours de réalisation. Les informations des contacts seront envoyées sur un mot de 16 bits à l'issue d'un multiplexage. Après traitement, les résultats seront visualisés sur une console TEKTRONIX 4012 et restitués au moyen d'une imprimante HOUSTON Type 8230. Le cadencement des échantillons de représentation palatine se fera à la fréquence fixe de 100 Hz (soit toutes les 10 millisecondes).

3. DE LA PALATOGRAPHIE A L'ELECTROPALATOGRAPHIE : PREMIERES INTERPRETATIONS DES RESULTATS ET APPLICATIONS POSSIBLES.

L'examen des premiers tracés provenant des électrodes palatines, enregistrés sur oscillographe, et la comparaison avec les résultats obtenus en palatographie indirecte montrent l'apport considérable de l'électropalatographie pour une meilleure connaissance temporelle de la succession des appuis linguaux, au cours de la phonation, et laissent envisager de multiples applications de cette instrumentation - éventuellement couplée à d'autres moyens d'investigation physiologique - dans des domaines tels que l'enseignement des langues, l'art dentaire et la rééducation orthophonique.

3.1. COMPARAISON ENTRE LES RESULTATS OBTENUS EN PALATOPHOTOGRAPHIE INDIRECTE ET EN ELECTROPALATOGRAPHIE.

Malgré les nombreuses réserves formulées, quant aux possibilités d'utilisation de ces premiers prototypes d'électropalatographe, le déclenchement des signaux des électrodes aux endroits qui avaient été touchés par la langue, en palatophotographie indirecte, démontre bien la fiabilité de la détection.

3.1.1. Localisation des zones de contact linguo-palatines.

On compare l'empreinte laissée par la langue sur deux des trois plaques d'électropalatographie (ELPA 2 et ELPA 3) et le déclenchement des signaux des électrodes situées dans la même région : ces derniers tracés sont recueillis à l'aide de deux enregistreurs galvanométriques (Fig. 17) défilant à la même vitesse (250 mm/s). Le signal de parole, capté par l'intermédiaire d'un laryngophone, permet le repérage des segments phoniques successifs (ligne du bas sur chacun des deux documents des figures 15, 16 et 18).

Ainsi, les six électrodes de ELPA 3 masquées par le produit colorant (Fig. 15, en haut et à droite) ont bien détecté les signaux correspondants, comme en témoignent les tracés enregistrés, lors de la prononciation de la consonne [d] dans la séquence [adi], au niveau alvéolaire.

Avec ELPA 2 (Fig. 16) on peut étudier les zones de contact linguales pendant la réalisation des consonnes occlusives postérieures, telle [k] dans la phrase "il attaque la banque" [ilatakla b k]. Les électrodes G 16, G 20, G 21 et D 14 ont bien été activées, mais pas G 11 située plus en avant sur le palais dur.

3.1.2. Ordre de succession des contacts linguaux.

L'électropalatographie dépasse ce niveau d'interprétation globale de la palatographie traditionnelle et fournit des informations sur les déplacements de la langue à l'intérieur de la cavité buccale.

Dans le cas de la consonne [d] précédée de la voyelle [a] et suivie de [i], l'ordre d'établissement des contacts est le suivant : d'abord D 3 et G 3 (électrodes situées latéralement), puis pratiquement au même moment D 2, G 2, D 1 et G 1.

Pour la réalisation de [k] suivie de [l] on retrouve la même succession des zones de contact, des côtés vers le centre du palais : d'abord G 21, D 15 puis D 14 et G 20 placées au centre et en arrière puis G 16 situés plus en avant.

Lors de la prononciation de ces deux consonnes occlusives, les contacts s'établissent d'abord latéralement entre les bords de la langue et les régions latérales alvéolaires droite et gauche, puis ensuite dans la partie médiane du palais, par la pointe ou le dos de ce même organe, selon l'articulation concernée ([d] ou [k]).

3.1.3. Durée des contacts linguaux.

La consonne [d], dans la séquence [adi], présente des contacts qui durent plus longtemps pour les électrodes situées latéralement (G 3 - D 3), un peu moins pour G 2, et encore moins pour G 1, D 1 et D 2. On remarquera que le contact se produit plus longuement à gauche (G 3 - D 2) que pour les électrodes correspondantes à droite (D 3 et D 2).

Avec [k], le contact s'établit avec une durée importante pour les électrodes latérales G 21 et D 15. Par contre, la durée de maintien du contact lingual s'abrège pour G 20, G 16 et D 14, situées dans la région médiane du palais.

Ainsi, et simplement en prenant comme exemple la réalisation de deux occlusives, l'électropalatographie permet de mettre en évidence un ordre de succession et une durée différente des appuis linguaux, selon qu'ils se trouvent latéralement ou dans une région médiane du palais. Contrairement à ce que l'on aurait pu penser, la durée d'établissement des contacts proches de la voûte palatine est du même ordre pour des consonnes occlusives de lieu d'articulation différent ([d] et [k]). S'agit-il d'un effet négatif de l'épaisseur ou de la découpe de la plaque ? D'une surarticulation, toujours possible, de l'occlusive dorsale ? De futures recherches, menées systématiquement avec une plaque palatine plus satisfaisante, permettront d'affiner encore cette étude dynamique des appuis linguo-palatins.

3.2. ELECTROPALATOGRAPHIE COUPLEE A D'AUTRES TECHNIQUES D'EXPLORATION PHYSIOLOGIQUE DE LA PHONATION.

Le cumul de techniques d'exploration physiologique est rendu nécessaire par l'extrême complexité du déroulement dans le temps des phénomènes de la parole. En outre, dès les premiers essais est apparue la nécessité de contrôler et de compléter, de manière permanente, les résultats obtenus par cette technique avec d'autres moyens d'investigation.

3.2.1. Electropalatographie couplée à l'électrokymographie.

On a réalisé, chez un même sujet, plusieurs séries d'enregistrements simultanés des signaux des électrodes palatines et du débit d'air capté à la sortie de la cavité buccale (à l'aide de l'électrokymographe mis au point par B. Teston, 1976). Cette double instrumentation (Fig. 17) permet de visualiser, par exemple, l'ordre de succession des appuis linguaux qui aboutit à la fermeture totale du conduit vocal et, de ce fait, à l'interruption du débit d'air, lors de la production des consonnes occlusives linguales et des consonnes nasales homorganiques (Fig. 18).

3.2.2. L'électropalatographie, technique complémentaire de l'exploration radiologique.

Un cliché radiographique, en phonation, ne donne qu'une idée partielle de la position de la langue à l'intérieur de la cavité buccale. Il doit être complété, en ce qui concerne les régions de contact linguo-palatines, non visibles, par un palatogramme réalisé simultanément (Fig. 19). La réalisation de films radiocinématographiques sur un sujet ayant en bouche la plaque d'électropalatographie permettra d'obtenir, en même temps, des informations sur la dynamique linguale mais aussi sur la succession des zones d'appui linguo-palatines.

3.2.3. Analyses acoustiques complémentaires.

Un projet à court terme, qui connaît actuellement un début de réalisation, consistera à réaliser des spectres acoustiques synchronisés avec les représentations palato-linguales, afin d'établir un nouveau lien entre la production articulatoire de la parole et les phénomènes acoustiques qui en découlent. La connexion, sur notre ordinateur, de l'analyseur en temps réel P.A.R. 4512 fournira des spectres de 128 points de résolution en 10 millisecondes, cadencés par l'horloge d'échantillonnage de l'électropalatographe.

Les films radiologiques du conduit vocal à 100 images/seconde (faits au S.C.R.A.T. du C.H.U. "La Timone" à Marseille, professeur Chevrot, sous le contrôle technique de M. Demange, manipulateur spécialisé en radio-cinéma) synchronisés avec l'électropalatographe et l'analyseur en temps réel nous apporteront simultanément une somme importante d'informations d'un grand intérêt pour la connaissance de la physiologie linguale.

3.3. LES APPLICATIONS DE L'ELECTROPALATOGRAPHIE.

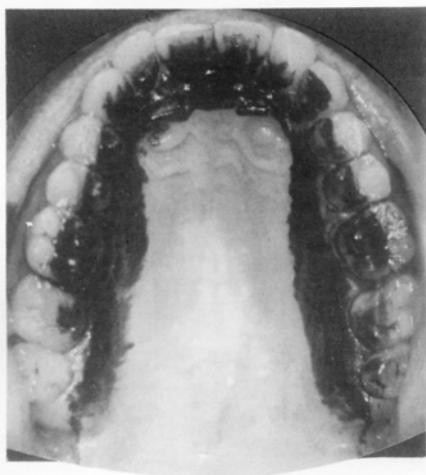
Cette amélioration de nos connaissances dans le domaine de la science fondamentale s'accompagne de nombreuses possibilités d'applications dans des domaines aussi différents que l'enseignement des langues étrangères (cf. Hardcastle, 1972) ou la rééducation orthophonique : mise en place des positions de la langue chez les mal-entendants ou correction des troubles d'articulation (cf. Shibata et autres auteurs, 1978).

Dans le domaine de l'art dentaire, l'électropalatographie a déjà ouvert de nouvelles voies de recherches (cf. S.L. Hamlet et M. Stone, 1978). Elle permet, comme nous l'avons montré, d'effectuer un contrôle très efficace de l'incidence des prothèses dentaires sur la phonation. Les possibilités de placer des électrodes non seulement sur le palais, mais aussi sur les dents, ou sur le matériau de prise d'empreinte, laissent envisager une nouvelle conception de l'empreinte phonétique, tant au niveau de l'arcade alvéolaire supérieure et du palais, qu'au niveau du naso-pharynx pour la mise au point des obturateurs en prothèse vélo-palatine (de type Schiltsky ou Suersen).

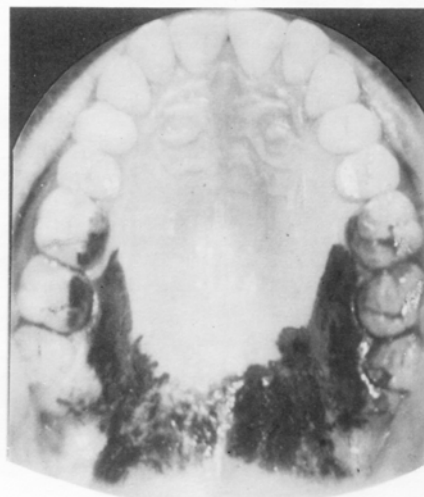
Cette première phase de recherches entreprise depuis quatre ans et dont nous avons tenté, dans ces quelques pages, de dresser un bilan, nous a confrontés à des problèmes délicats de mise au point et d'utilisation de l'électropalatographie, qui n'ont pas encore été tous parfaitement résolus.

Des progrès restent nécessaires pour compenser l'inconvénient majeur, inhérent à cette technique, d'avoir à recouvrir le palais d'un locuteur, pour recueillir les appuis linguaux au cours de la phonation. En ce qui concerne la fiabilité de la détection des contacts, autre difficulté rencontrée, les multiples contrôles réalisés ont abouti à la réalisation d'un nouveau système plus performant.

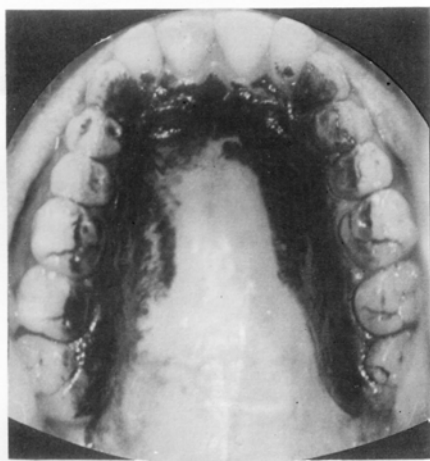
Il n'est pas irréaliste d'envisager maintenant le passage à une deuxième phase de recherches où seront considérées en priorité les problèmes de traitement intensif et d'exploitation linguistique des données fournies par l'électropalatographe, couplé à d'autres moyens d'investigation physiologique.



1. [bate]



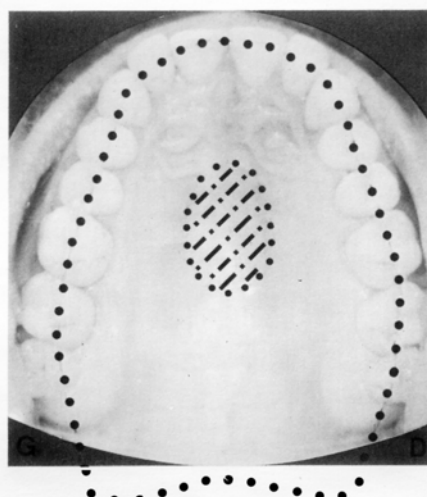
2. [pakom]



3. [apo]



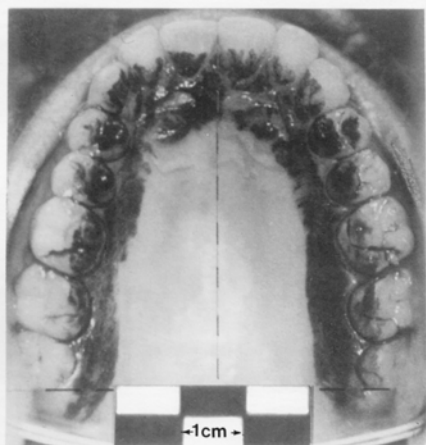
4. [maki]



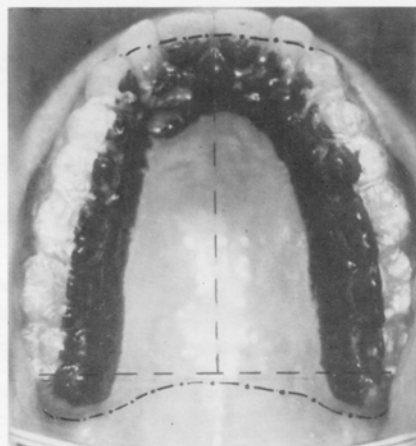
5. Limites générales.

Figure 1 :

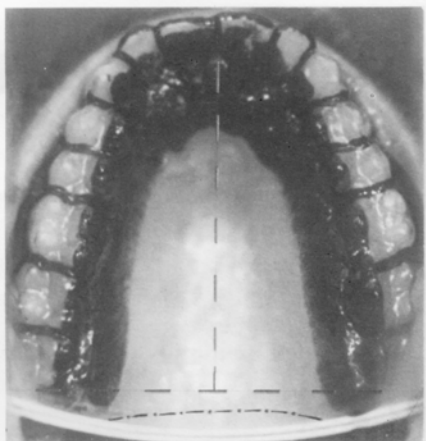
Palatophotographie directe, chez un même sujet D. A., de séquences phoniques dont les tracés délimitent les zones de contact linguales extrêmes, par rapport aux dents (1), au voile du palais (2) et à la voûte palatine (3 et 4). Récapitulation générale (en 5) : la zone non touchée par la langue est hachurée.



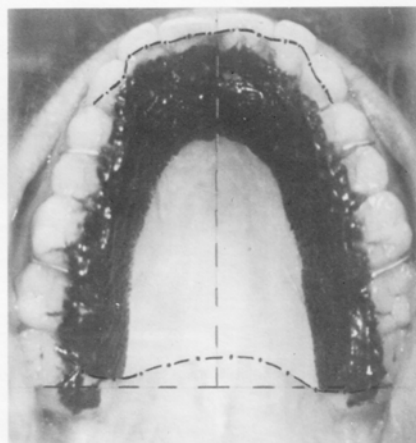
1. PLD



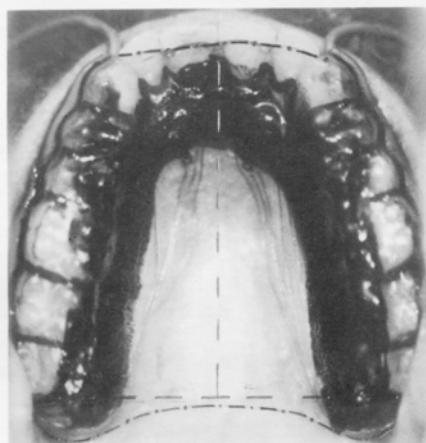
2. PLII 1



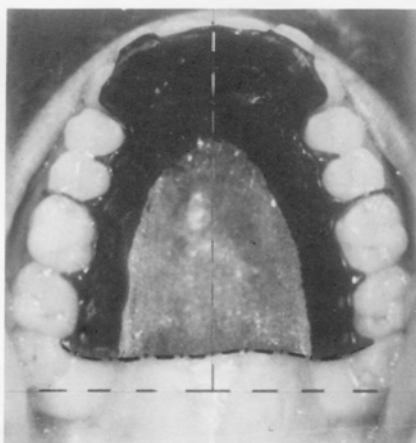
3. PLII 2



4. PLIR 1



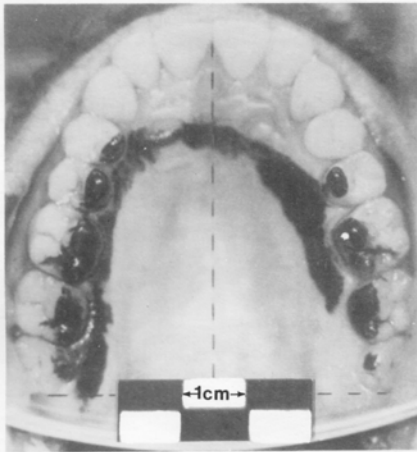
5. ELPA 3



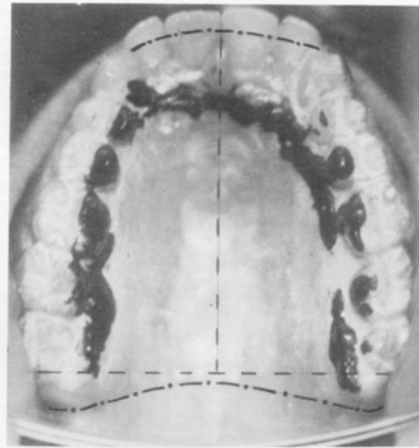
6. PLIR 2

Figure 2 :

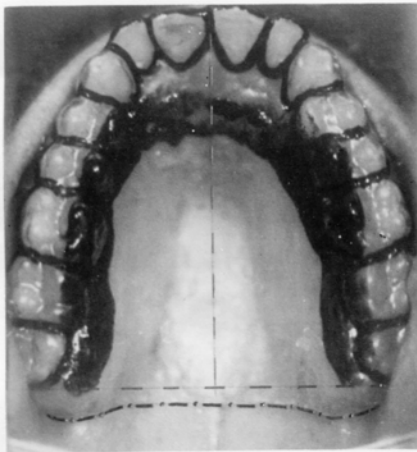
Comparaison entre les tracés obtenus, lors de la prononciation de la même séquence phonique [mata], en palatographie directe (1) et en palatographie indirecte (2 à 6) avec plusieurs types de plaques palatines : en imprélon de 0,3 et 0,6 mm (2 et 3), en résine acrylique de 0,6 et 0,8 mm (4 et 6) et avec la plaque d'électropalatographie de 0,8 mm (5).



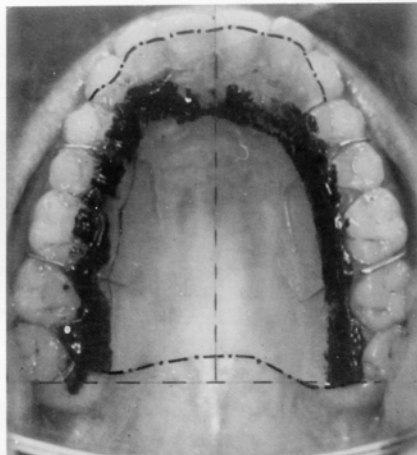
1. PLD



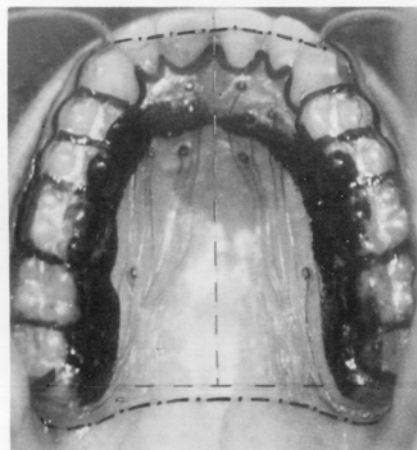
2. PLII1



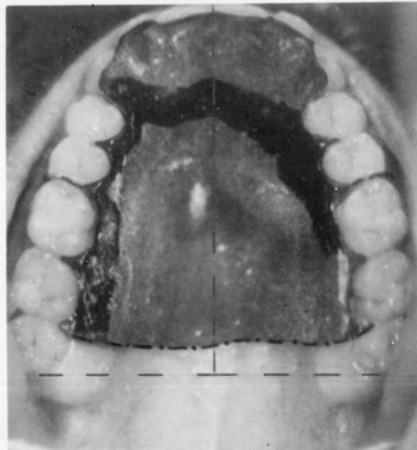
3. PLII 2



4. PLIR 1



5. ELPA 3



6. PLIR 2

Figure 3 :

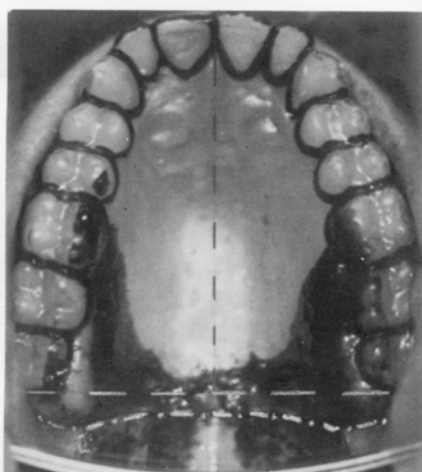
Comparaison entre les tracés obtenus, lors de la prononciation de la séquence phonique [pala], en palatophotographie directe (1) et en palatophotographie indirecte (2 à 6) avec plusieurs types de plaques palatines (cf. Fig. 2).



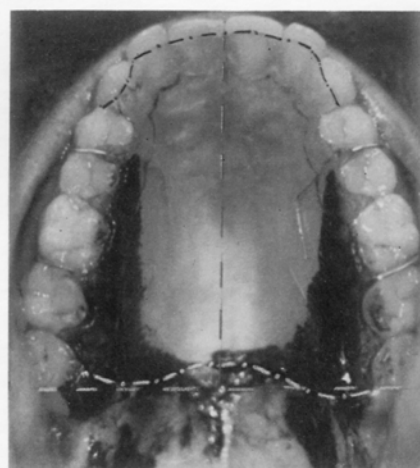
1. PLD



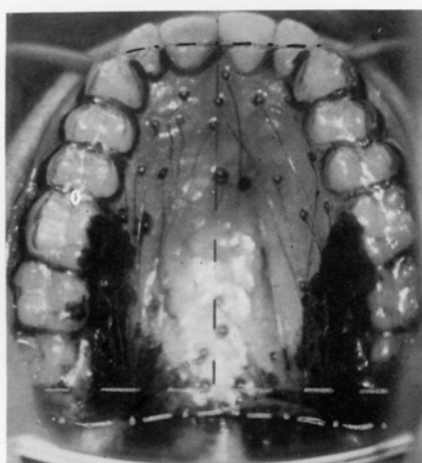
2. PLII 1



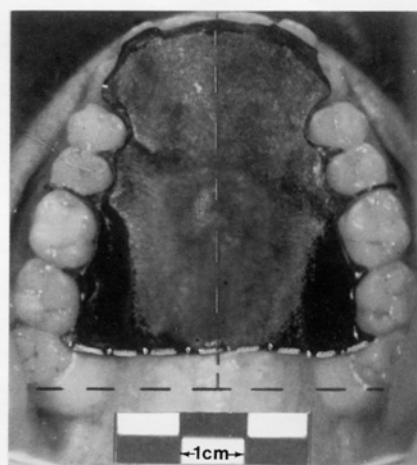
3. PLII 2



4. PLIR 1



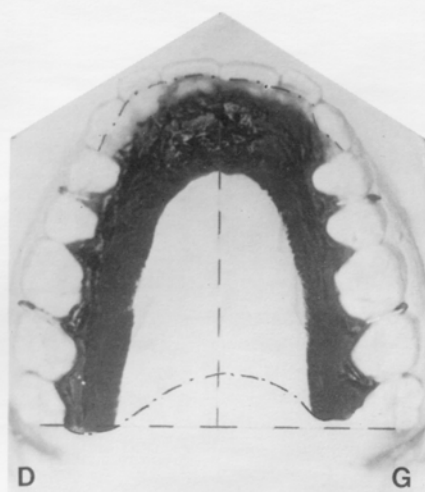
5. ELPA 3



6. PLIR 2

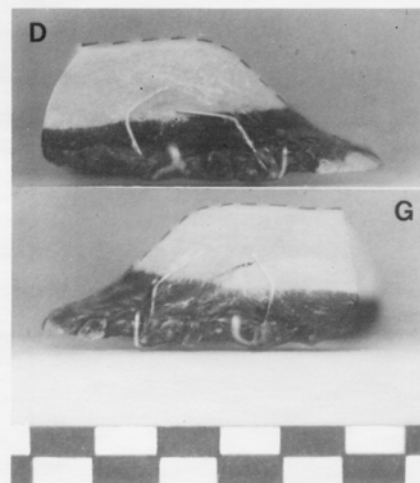
Figure 4 :

Comparaison entre les tracés obtenus, lors de la prononciation de la séquence phonique [vaka], en palatophotographie directe (1) et en palatophotographie indirecte (2 à 6) avec plusieurs types de plaques palatines (cf. Fig. 2).

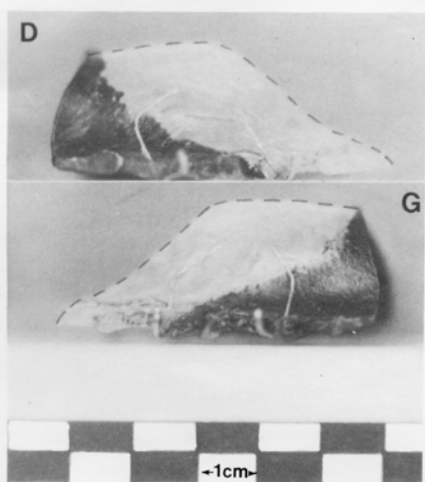


[mata]

FACE

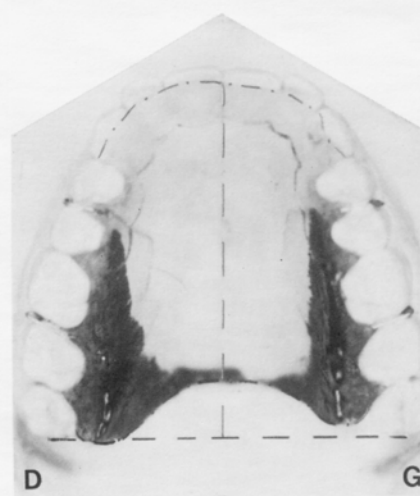


PROFILS

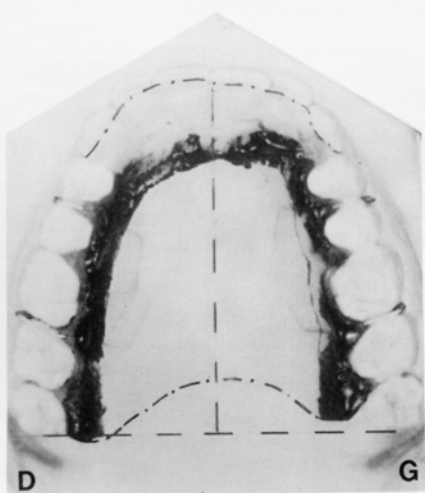


[vaka]

PROFILS

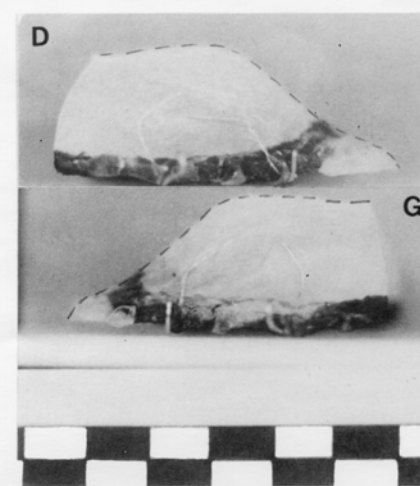


FACE



[pala]

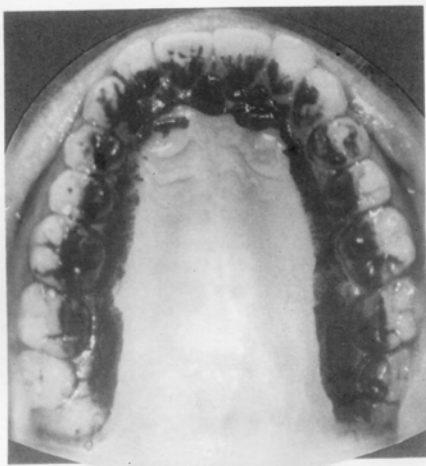
FACE



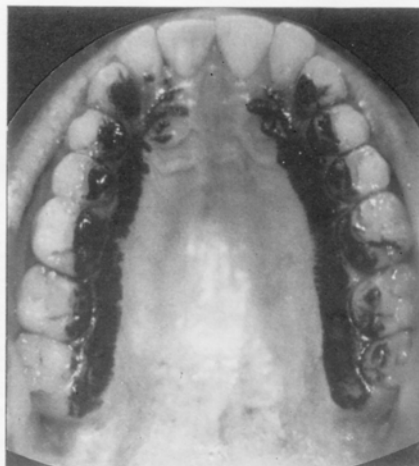
PROFILS

Figure 5 :

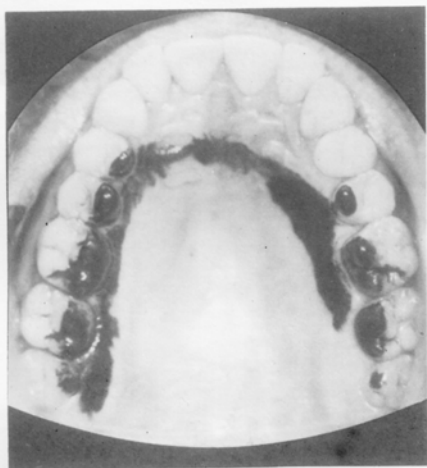
Contrôle, à l'aide d'une plaque de résine acrylique transparente (PLIR 1), de la position relative des zones de contact linguales par rapport à la voûte palatine, pour les réalisations consonantiques [t], [k] et [ʎ].



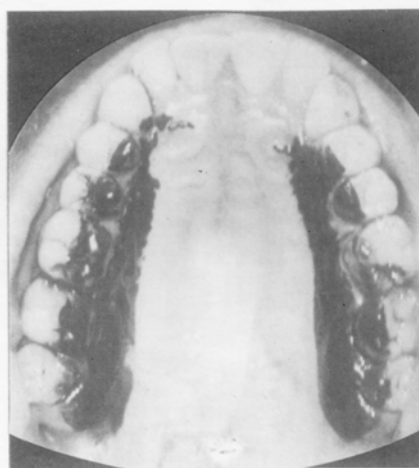
[mata]



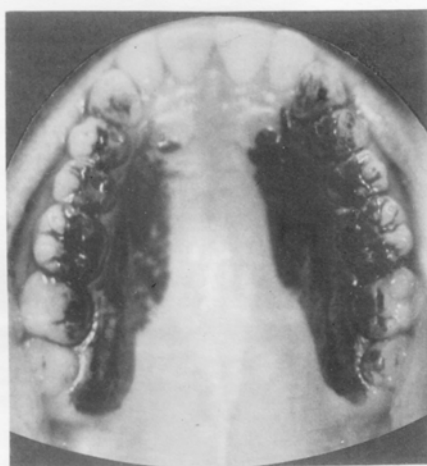
[pasa]



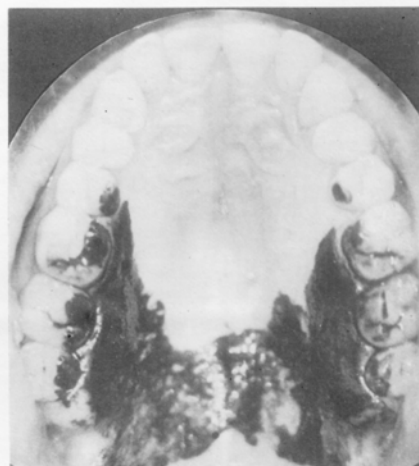
[pala]



[faʃa]

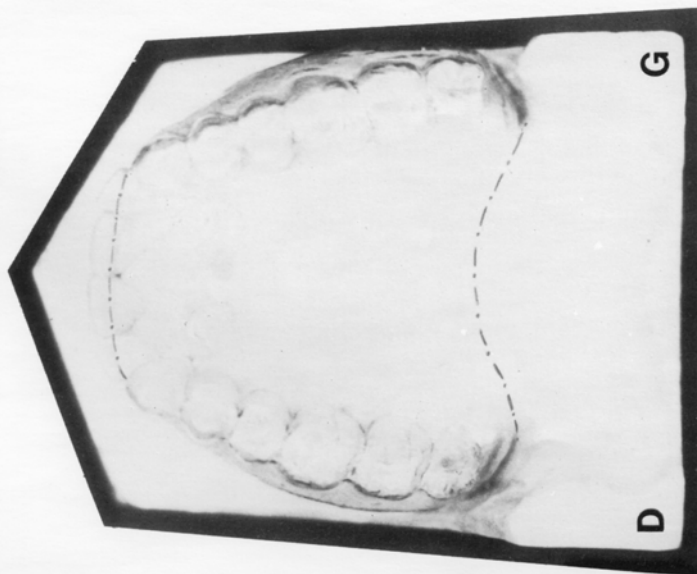


[avi]

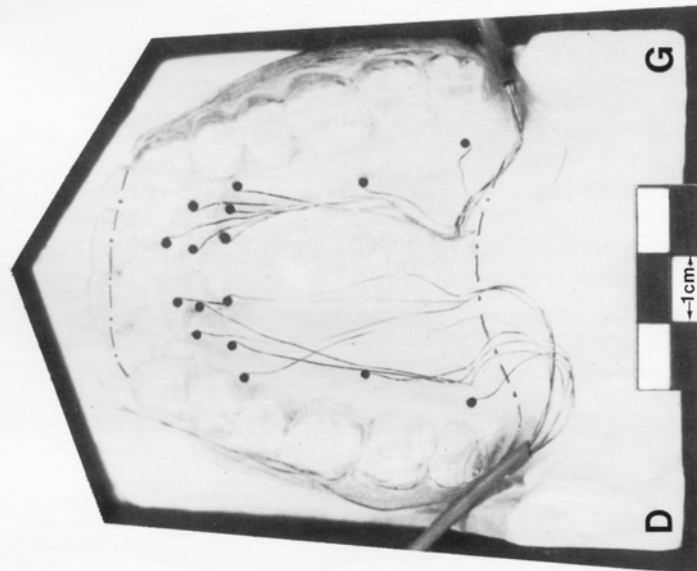


[vaka]

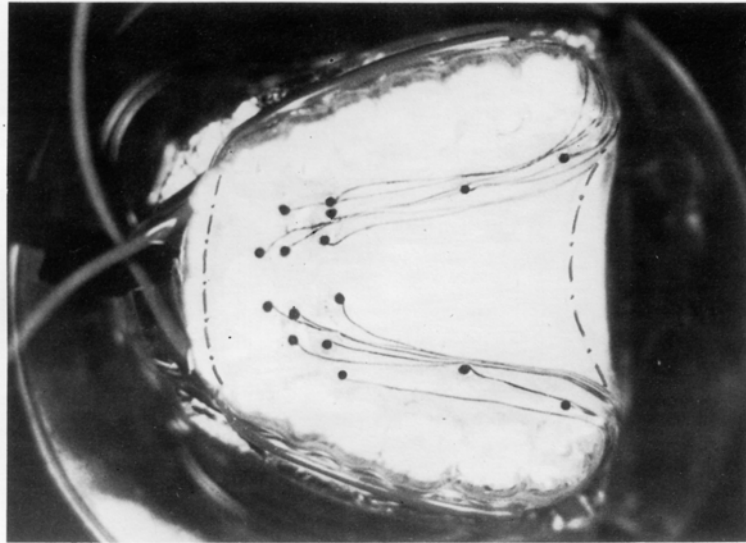
Figure 6 :
Examen palatophotographique direct, préalable à la mise en place des électrodes palatines.



1



2



3

Figure 7 :
Photographies sur moulages des phases successives de l'élaboration de la plaque d'électropalatographie ELPA 3 :

1. Plaque d'imprélon de 0,5 mm après façonnage thermoplastique.
2. Collage des électrodes et des fils de liaison.
3. Recouvrement des électrodes, des fils de liaison et des deux gaines thermorétractables par une seconde plaque d'imprélon de 0,5 mm.

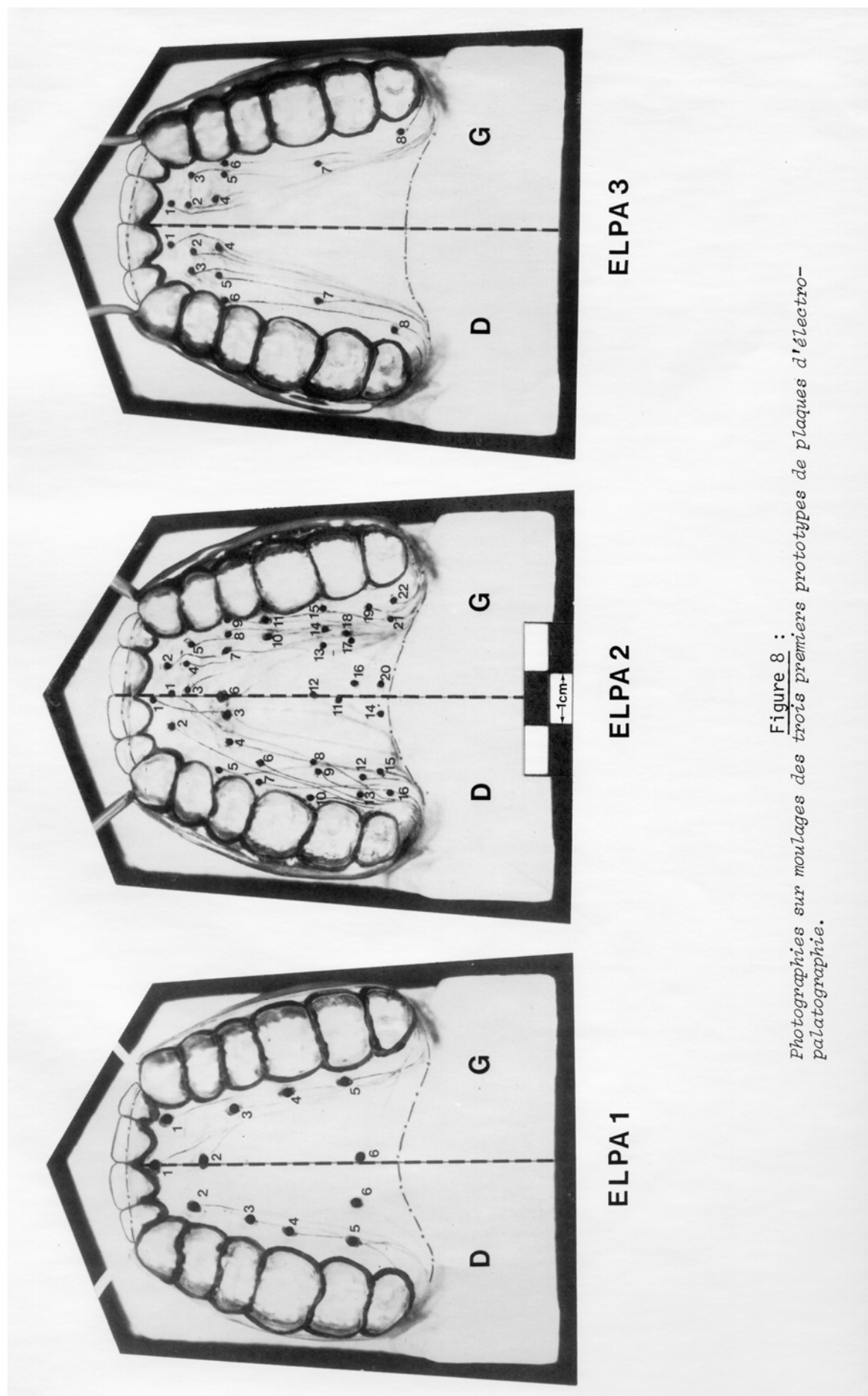


Figure 8 :
 Photographies sur moulages des trois premiers prototypes de plaques d'électro-
 palatographie.

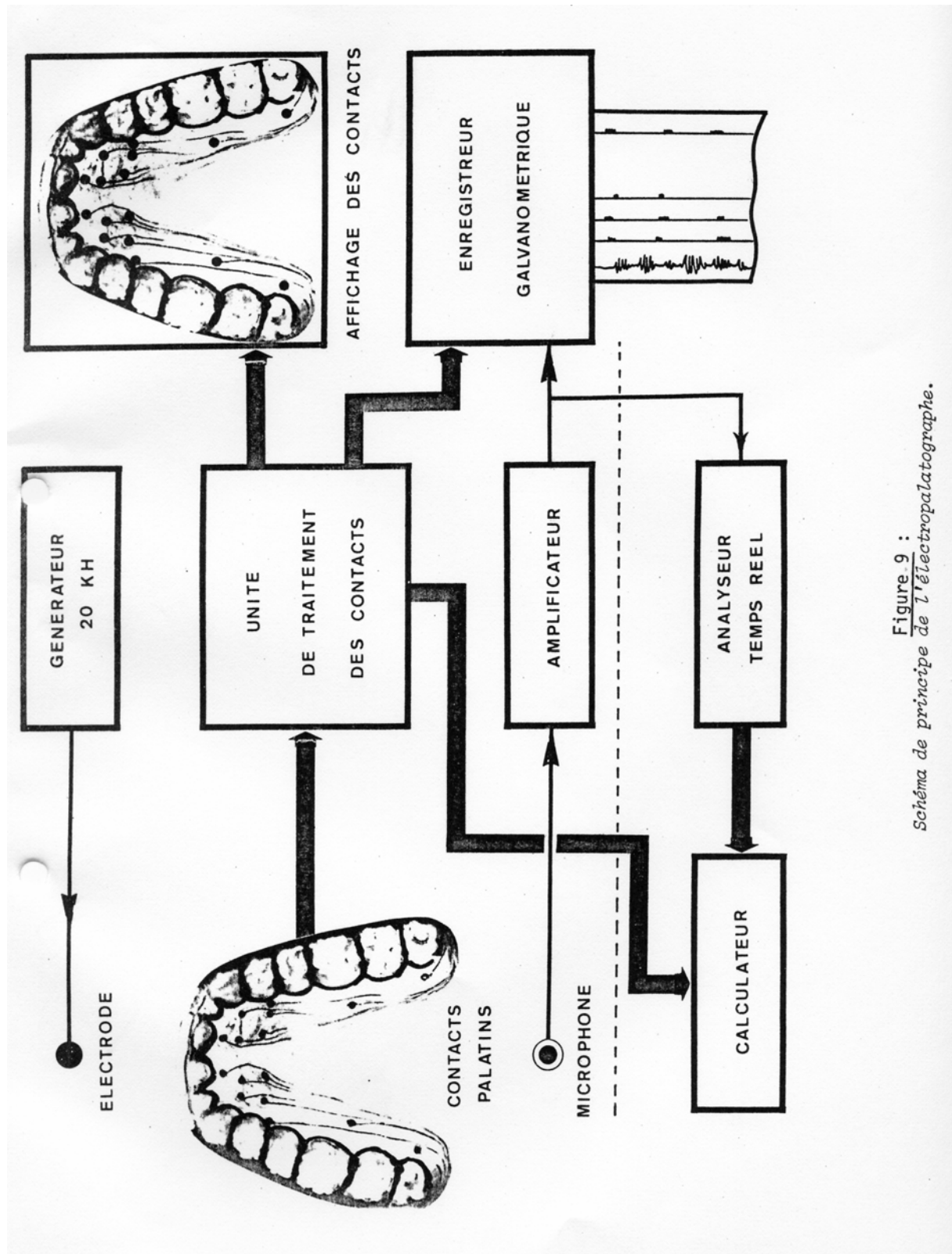


Figure 9 :
Schéma de principe de l'électropalatographie.

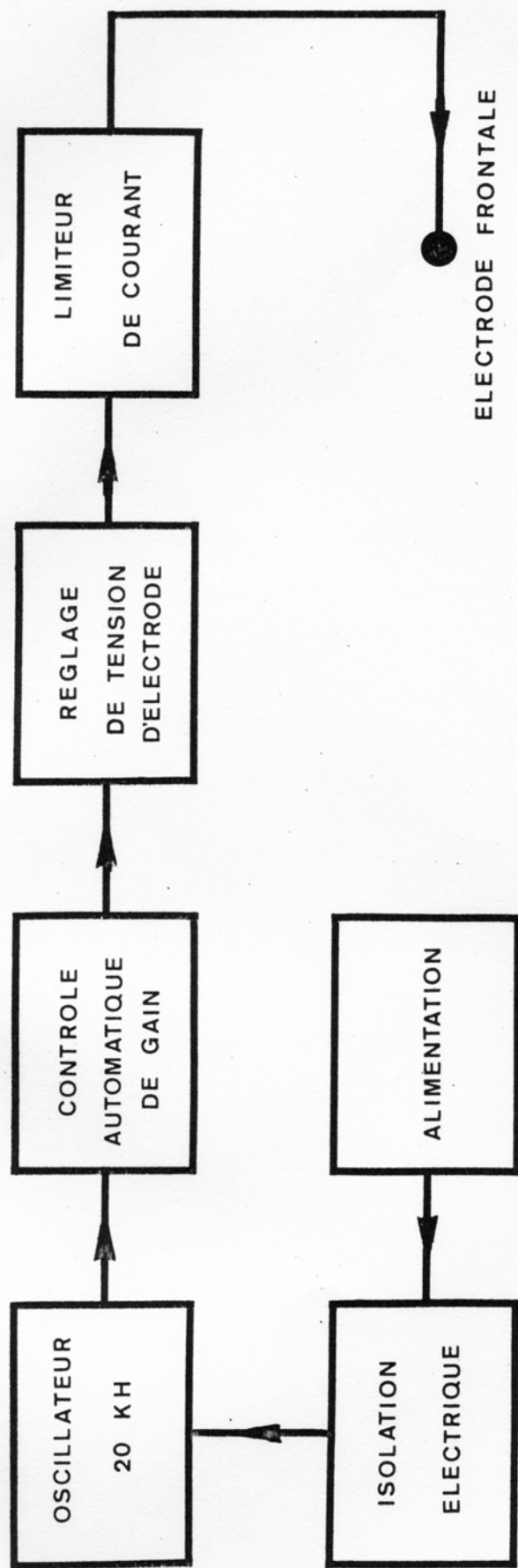


Figure 10 :
Schéma de principe du générateur de tension alternative de 20 KHz.

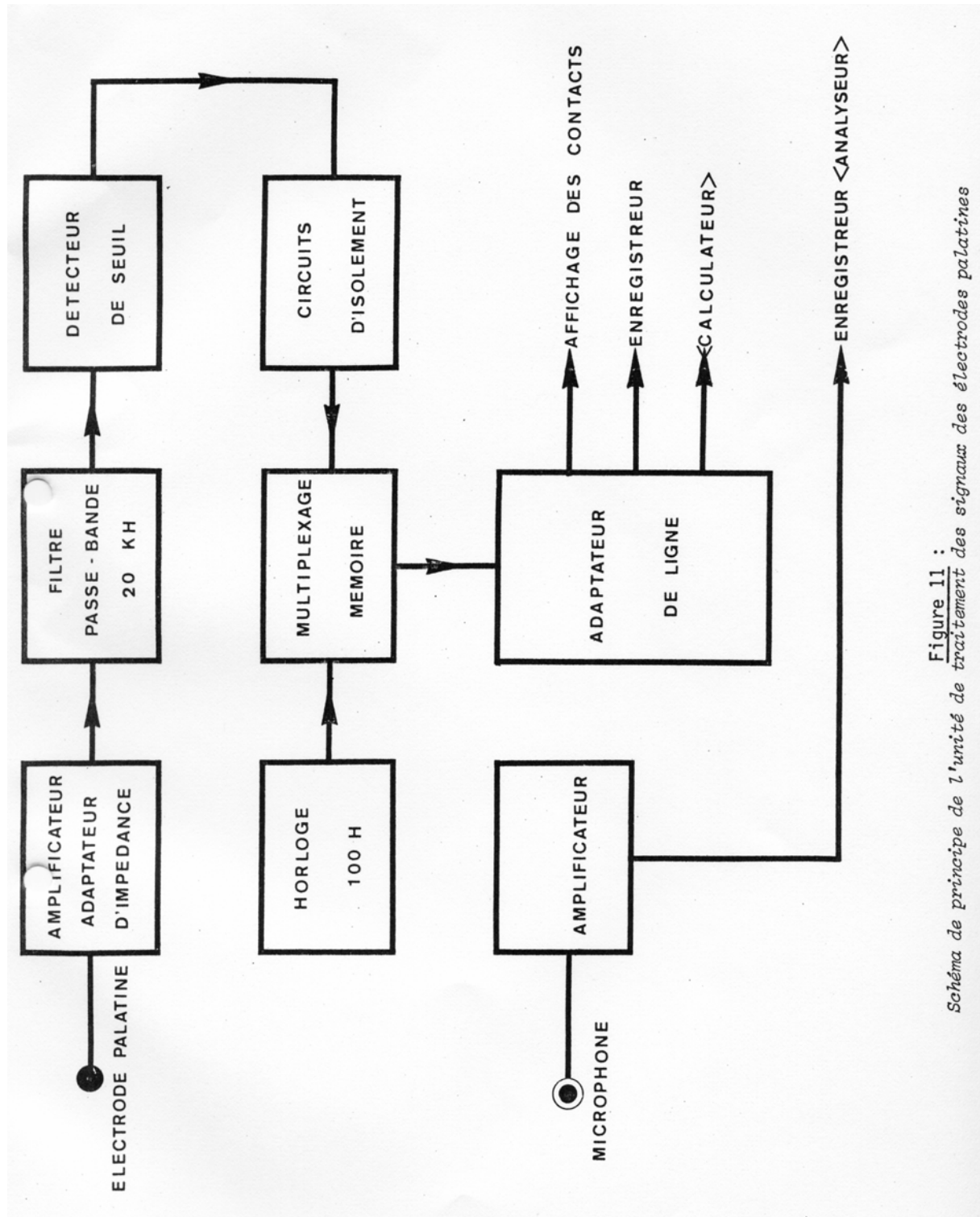


Figure 11 :

Schéma de principe de l'unité de traitement des signaux des électrodes palatines

SUJET	Conductivité entre deux électrodes de 1 mm de diamètre, séparées par 2,4 mm.	Résistance entre l'électrode frontale et le contact palatin
	Kohms	Kohms
1	17	7
2	26	13
3	13	13
4	11	10
5	18	11
6	15	8
7	18	7
8	16	6
9	25	8
10	11	6

Figure 12 :
Différences interindividuelles de conductivité de la salive.

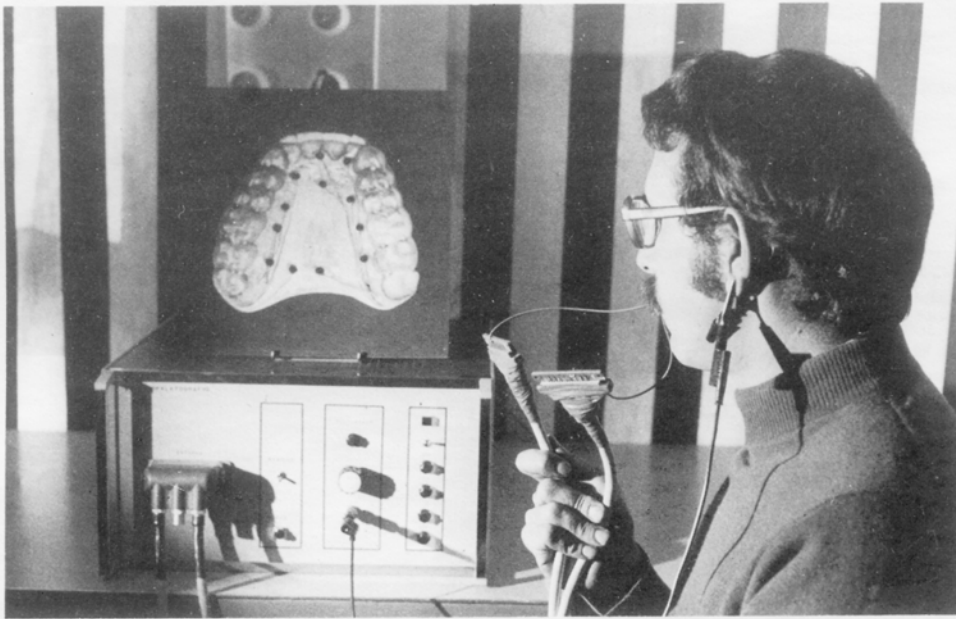


Figure 13 :
Visualisation des contacts des électrodes palatines à l'aide d'un panneau lumineux (reproduisant la plaque ELPA 1).

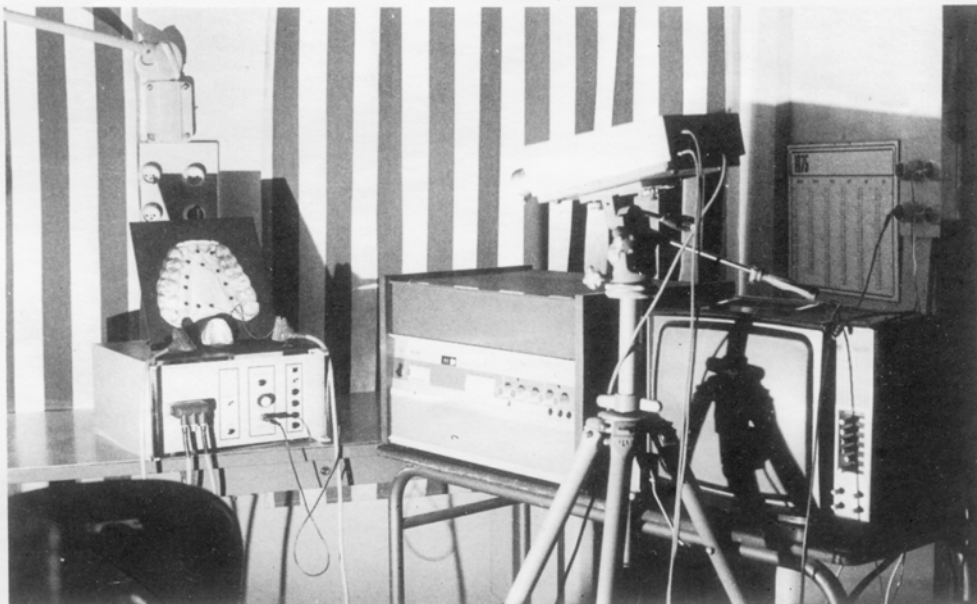


Figure 14 :
Dispositif d'enregistrement magnétoscopique de la succession des zones de contact linguo-palatines sur le panneau lumineux reproduisant ELPA 1.

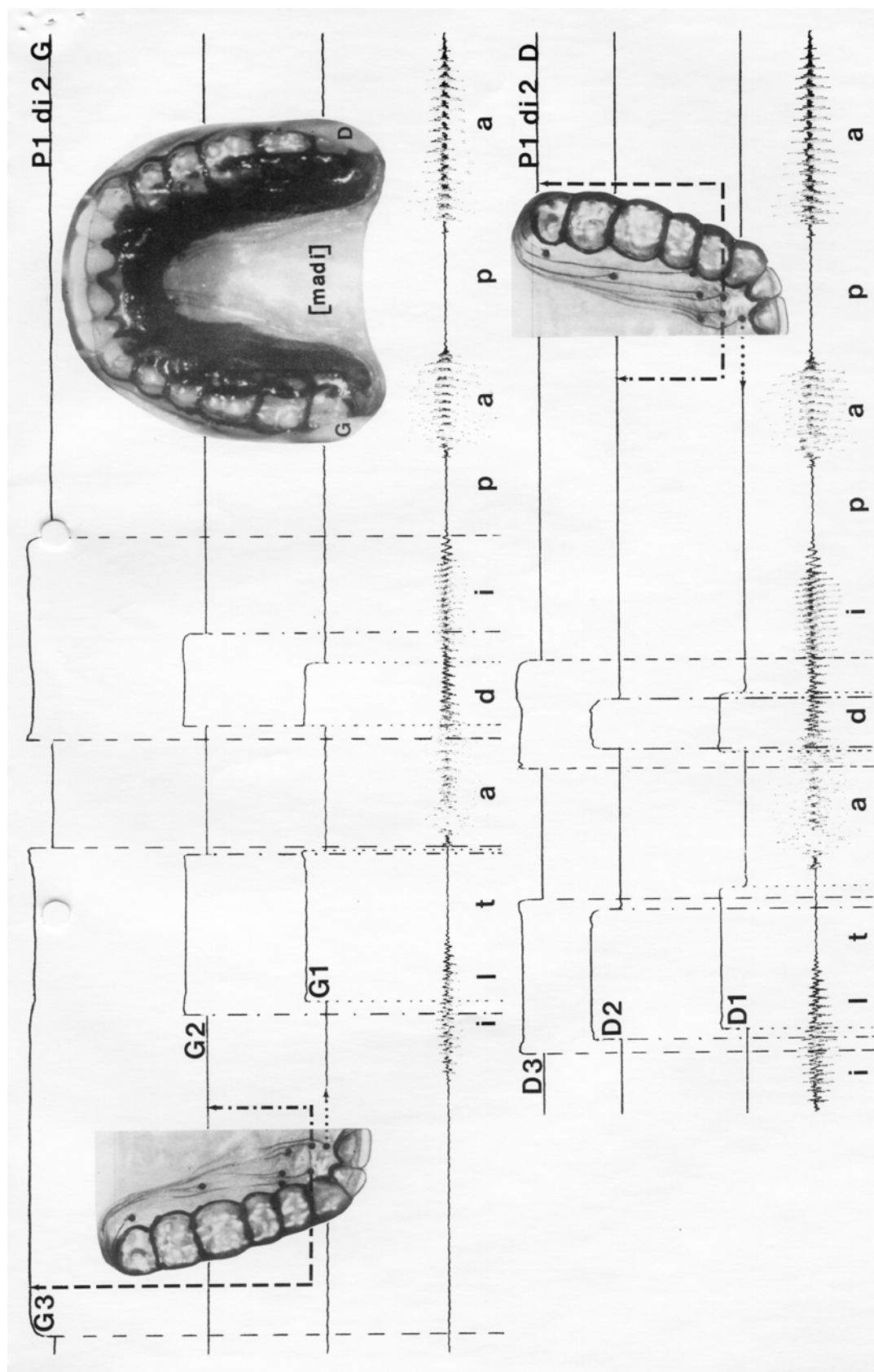


Figure 15 :

Enregistrement oscillographique des signaux provenant de six électrodes situées dans la partie antérieure de la région alvéolaire, aux lieux d'articulation des réalisations consonantiques [t], [d], [l], prononcées dans l'énoncé "il t'a dit papa".



Figure 16 :
Enregistrement oscillographique des signaux provenant de six électrodes
situées dans la partie postérieure du palais dur, aux lieux d'articulation
des deux réalisations consonantiques [k] , prononcées dans l'énoncé "il
attaque la banque".

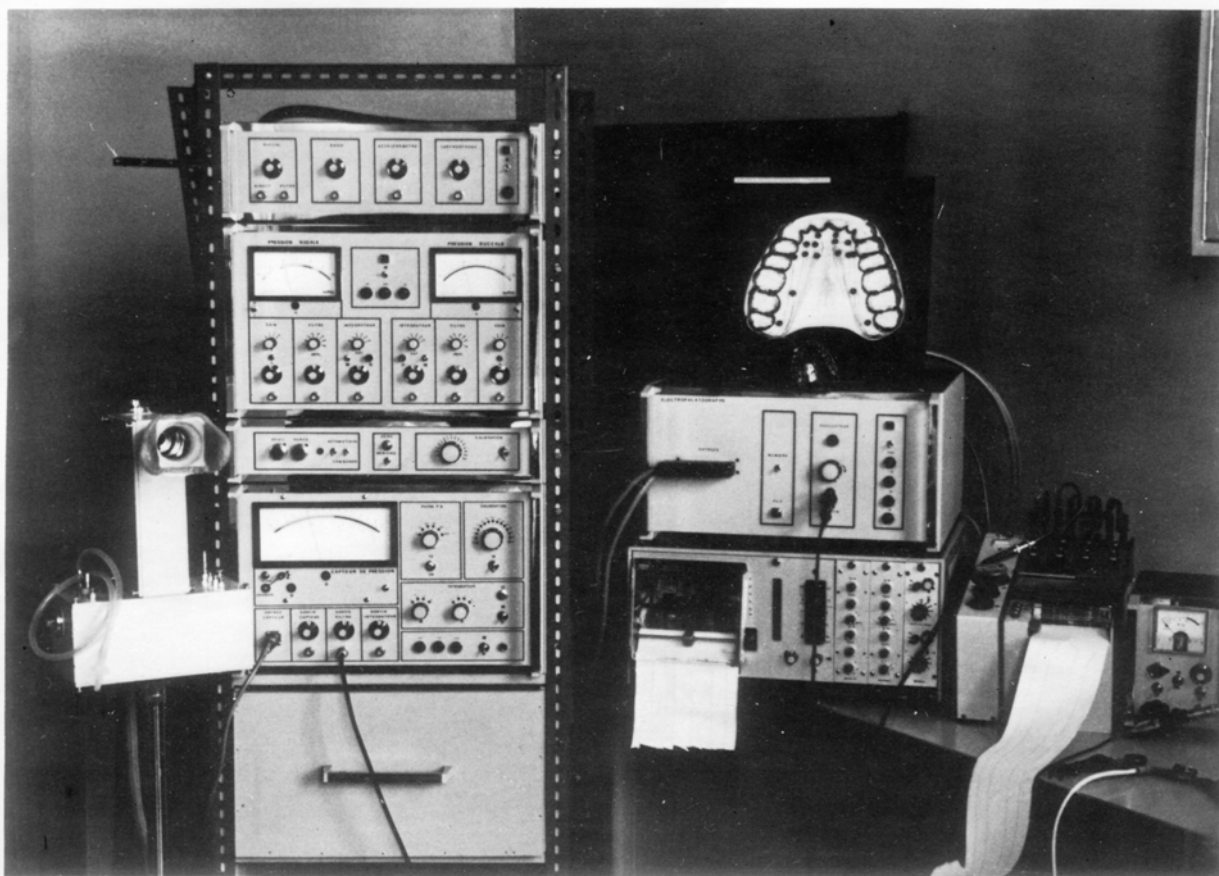


Figure 17 :
Instrumentation permettant l'enregistrement simultané sur oscillographe, des signaux des électrodes palatines et des divers paramètres aérodynamiques (débit, pression d'air).

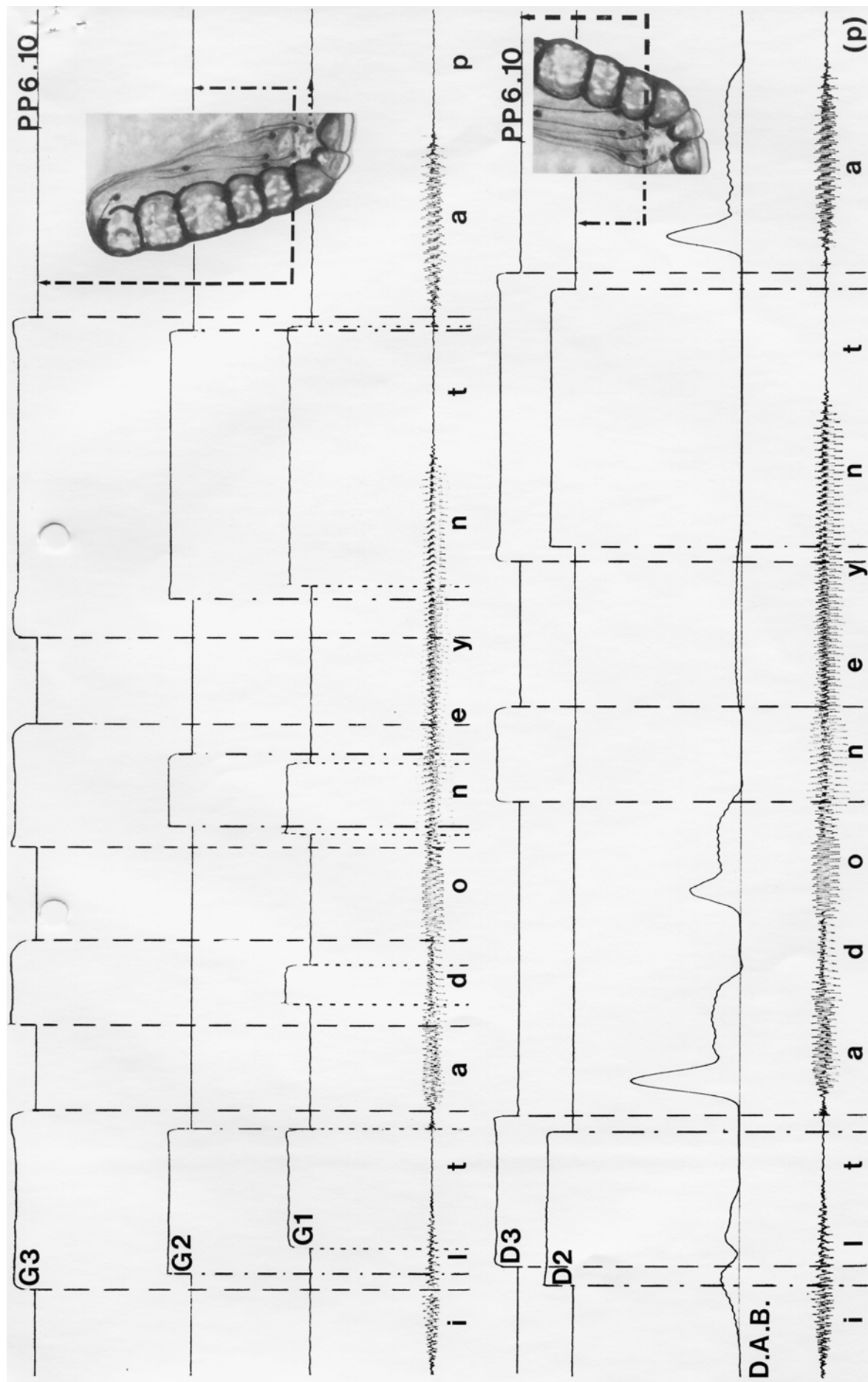


Figure 18 :

Enregistrement oscillographique simultané des signaux de cinq électrodes situées dans la région alvéolaire (aux lieux d'articulation des réalisations consonantiques [t], [d], [n], [l]) et du débit d'air capté à la sortie de la cavité buccale (D.A.B.), lors de la réalisation de la phrase "il t'a donné une tme".

REPERES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABERCROMBIE D., (1957)
"Direct palatography", Zeitschrift fur Phonetik, 10, 1 : 21-25.
- ALLEN L.R. (1958)
"Improved phonetics in denture construction", Journal of Prosthetical Dentistry, 8 : 753-763.
- ANTHONY J.K.F. (1954)
"New Method for Investigating Tongue Positions of Consonants", Science Technologists Association Bulletin : 2-5.
- AUTESSERRE D., APPAIX A., HENIN N., ROCHEBLOINE-BELTRAN R., BALAY N., (1972)
"Etude palatographique des contacts linguo-palataux pendant l'articulation des consonnes dento-alvéolaires en français", Folia Phoniatica, 24 : 438-445.
- BOHME G. and GRUNDMANN G. (1972)
"Photopalatography as a diagnostic method in phoniatrics", Acta Otolaryng. 73 : 502-505.
- BUTCHER A. et WEIHER E. (1976)
"An electropalatographic investigation of coarticulation in VCV sequences", Journal of Phonetics, 4 : 59-74.
- CHATEAU M. (1970)
Orthopédie dento-faciale, Paris, Julien Prélat, 4e éd. refondue, 642 p.
- CHLUMSKY J. (1914)
"La photographie des articulations dessinées au palais artificiel", Revue de Phonétique, 4 : 46-58.
- DURAND M. (1929)
"Etude sur les phonèmes postérieurs dans une articulation parisienne", Revue de Phonétique, 6 : 241-256.
- FELDMANN E.W. (1965)
"Speech articulation problem associated with placement of orthodontic appliances", Journal of Speech and Hearing Disorders, 21 : 34-48.

- FIRTH J.R. (1948)
"Word-palatograms and articulation", Bulletin School of Oriental and African Studies, 12 : 857-864.
- FIRTH J.R. and ADAM H.J.F. (1950)
"Improved techniques in palatography and kymography", Bulletin School of Oriental and African Studies, 13 : 771-774.
- FLETCHER S. G., Mc CUTCHEON M.J., and WOLF M.B. (1975)
"Dynamic palatometry", Journal of Speech and Hearing Research, 18 : 812-819.
- FUJII I. (1970)
"Phoneme identification with dynamic palatography", Ann. Bull. Res. Inst. Logop. Phoniat., Univ. Tokyo, 4 : 67-73.
- FUJII I., FUJIMURA O. et KAGAYA R. (1971)
"Dynamic palatography by use of a computer and an oscilloscope", Proceedings of the 7th Intern. Cong. on Acoustics, 3 : 113-116.
- FUJIMURA O., TATSUMI I.F. et KAGAYA R. (1973)
"Computational processing of palatographic patterns", Journal of Phonetics, 1 : 47-54.
- HALA B. (1964)
"Apical, cacuminal, retroflex, coronal, dorsal", Phonetica, 11 : 186-195.
- HAMLET S.L. and STONE M. (1978)
"Compensatory alveolar consonant production induced by wearing a dental prosthesis", Journal of Phonetics, 6 : 227-248.
- HAMMARSTROM G. (1957)
"Über die Anwendungsmöglichkeiten der Palatographie", Z. Phonetik, 10 : 323-336.
- HARDCASTLE W.J. (1968)
"Dynamic palatography", Work in Progress, Department of Phonetics and Linguistics University of Edinburgh, 2 : 53-57.
- HARDCASTLE W.J. (1969)
"A system of dynamic palatography", Work in Progress Depart. Phon. and Ling. Univ. Edinburgh, 3 : 47-52.
- HARDCASTLE W.J. (1970)
"The role of tactile and proprioceptive feedback in speech production"
Work in progress, Depart. Phon. and Ling. Univ. Edinburgh, 4 : 100-111.
- HARDCASTLE W.J. (1972)
"The use of electropalatography in phonetic research", Phonetica, 25 : 197-215.
- HARDCASTLE W.J. (1974)
"Instrumental investigations of lingual activity during speech : a survey", Phonetica, 29 : 129-157.

- HARDCASTLE W.J. (1976)
Physiology of Speech Production : an introduction for Speech Scientists, London, Academic Press.
- HARDCASTLE W.J. (1975)
"Some physiological constraints on co-articulatory processes", Paper presented at English International Congress of Phonetic Sciences, Leeds, Work in Progress, Phonetics Laboratory, Univ. of Reading, 1 : 21-26.
- HARDCASTLE W.J. and ROACH P.J. (1977)
"An instrumental investigation of coarticulation in stop consonant sequences", Work in Progress, Phonetics Laboratory, Univ. of Reading, 1, 27-44.
- HARLEY W.T. (1972)
"Dynamic palatography. A study of linguapalatal contacts during the production of selected consonant sounds", Journal of prosthetic dentistry, 27 : 364-376.
- HEINITZ (1920)
"Zur graphischen Darstellung von palatographischen Berührungswerten", Vox : 32-36.
- HEINITZ (1922)
"Die Fehlervermeidung bei der Flächenprojektion künstlicher gaumen", Vox : 1-3.
- HIKI S. and IMAIZUMI S. (1974)
"Observation of symmetry of tongue movement by use of dynamic palatography", Ann. Bull. Res. Inst. Logop. Phoniat., Univ. Tokyo.
- HOPKIN G.B. and Mc EWEN J.D. (1955)
"Speech defects and malocclusion : a palatographic investigation", Dent. Pract., 6 : 123.
- IZARD G. (1960)
Orthodontie, orthopédie dento-faciale, Paris, Masson.
- JONES W.R. (1977)
"Electropalatograph hardware", Work in Progress, Phonetics Laboratory, Univ. of Reading, 1 : 7-13.
- KAISER L. (1936)
"The Shape of the Palate and its Effect upon Speech Sounds", Proceedings of 2nd International Congress of Phonetic Sciences, London, Cambridge University Press : 22-27.
- KAISER L. (1940 et 1941)
"Biological and statistical research concerning the speech of 216 Dutch students", Archives néerlandaises de Phonétique Expérimentale, 15 (1939) : 1-76 (I) ; 16 (1940) : 77-136 (II) ; 17 (1941) : 143-211 (III) ; 18, 1-58 (IV).

- KESSLER H.E. (1957)
"Phonetics in denture construction", J. Am. Dent. Assoc. 54 : 347-351.
- KOHLER K. (1976)
"Die Instabilität wortfinaler Alveolarplosive in Deutschen : eine elektropalatographische Untersuchung", Phonetica, 33 : 1-30.
- KOZHEVNIKOV V.A. and CHISTOVICH L.A. (1965)
Speech : Articulation and Perception, translated by U.S. Department of Commerce, Joint Publications Research Service, Washington, D.C.
- KOZHEVNIKOV V.A., GRANDSTREM M.P., KUZMIN Y.I., SHUPLIAKOV V.S., VENCOV A.V., BOROZDIN A.N., GERASIMOV A.A. and ZHUKOV S.J. (1968)
"System of devices for articulatory and acoustic study of continuous speech", Z. für Phonetik, 21 : 123-128.
- KUZMIN Y.I. (1962)
"Mobile palatography as a tool for acoustic study of speech sounds", Proceedings of the 4th International Congress on Acoustics, Copenhagen : 1-3.
- KYDD W.L. and BELT D.A. (1964)
"Continuous palatography", J.S.H.D., 29, 1964 : 489-494.
- LADEFOGED P. (1957)
"Use of palatography", J.S.H.D., 22, 5 : 764-774.
- LENZ R. (1887)
Zur physiologie und geschichte der palaten, Inaugural dissertation zur Erlangung der Doktorwürde 11 août 1886, Gütersloh, 1887, 37 p. + 1 planche.
- MARSEILLER E. (1971)
Les dents humaines, Morphologie, Paris, Gauthier-Villars, (nouveau tirage) XI + 140 p.
- MIYAWAKI K. (1972)
"A preliminary study of American English /r/ by use of dynamic palatography", Ann. Bull. Res. Inst. Logop. Phoniât., Univ. Tokyo 6 : 19-24.
- MIYAWAKI K., KIRTANI S., TATSUMI I.F. and FUJIMURA O. (1974)
"Palatographic observation of VCV articulations in Japanese", Ann. Bull. Res. Inst. Logop. Phoniât., Univ. Tokyo, 8 : 51-57.
- MOLLARD R.J. (1973)
Importance des rapports de la langue et de l'appareil dento-maxillaire. Contribution à l'étude de ces rapports lors de la réalisation de certaines consonnes du français. Thèse pour l'obtention du diplôme de Docteur en Chirurgie dentaire, Marseille, 64p + VI.
- MOLLARD R.J. (1975)
Etude téléradiographique, palatographique et électropalatographique des rapports entre la langue et l'appareil dento-maxillaire en phonation. Thèse pour l'obtention du diplôme de Docteur de 3ème cycle en Sciences Odontologiques, Marseille, 128 p. + XX.

- MOSES E.R.Jr. (1939)
"Palatography and Speech Improvement" J.S.H.D., 4, 2 : 102-114.
- MOSES E.R.Jr. (1941)
"Some resultant changes after filling (high) palatal vault", Speech Monographs, 8, 1941 : 102-113.
- MOSES E.R.Jr. (1962)
"Experiments with tongue-palate contacts", Proceedings of 4th International Congress of Phonetic Sciences, Helsinki, Mouton, The Hague ; 1962 : 214-220.
- MULLER K. et ROSSIWALL B. (1975)
"Herstellung von Trefziehplatten zur Registrierung von Palatogrammen", Folia Phoniatica, 27 : 274-277.
- National Semiconductor. Linear Applications, Santa Clara, 1973, 420p.
- PALMER J.M. (1973)
"Dynamic palatography general implications of locus and sequencing patterns", Phonetica, 28 : 76-85.
- PANCONCELLI-CALZIA G. (1918)
"Uber Palatogrammetrie", Vox : 172-179.
- RINGEL R.L. et STEER M.D. (1963)
"Some effects of tactile and auditory alterations on speech output", J.S.H.R., 6 : 369-378.
- ROACH P.J. and HARDCASTLE W.J. (1976)
A computer system for the processing of electropalatographic and other articulatory data", Occasional Papers, 17, University of Essex, Department of Language and Linguistics.
- ROACH P.J. (1977)
"Notes on the processing of electropalatographic data with a small computer", Work in Progress, Phonetics Laboratory, University of Reading, 1 14-20.
- ROME J.A. (1964)
"An artificial palate for continuous analysis of speech", Quarterly Progress Report, M.I.T. Research Laboratory Electronics, 94 : 190-191.
- ROUSSELOT P.J. l'abbé
Principes de phonétique expérimentale, Paris, Welter, 1897-1901.
- SAWASHIMA M. (1976)
"Current instrumentation and techniques for observing speech organs", Technocrat., 9 : 19-26.
- SAWASHIMA M. et COOPER F.S. éditeurs (1977)
Dynamic Aspects of Speech Production, University of Tokyo Press.

- SCHEU R. (1968)
"Nouvelles méthodes pour le façonnage thermoplastique en prothèse et en orthodontie", L'information dentaire, 48 : 3-7.
- SCHOLZ H.J. (1966)
"Zur geschichte der palatographie", Phonetica, 15 : 110-121.
- SCHOLZ H.J. (1967)
"Ein Beitrag zur Darstellung und Messung palatographischer Untersuchungsergebnisse" Phonetica, 16 : 215-228.
- SCHOULER J. (1972)
"Les papilles palatines. Leur relation avec la phonation. Leur reproduction sur les plaques des prothèses adjointes", Science et Recherche Odontostomatologiques, 2, 2 : 35-42.
- SCRIPTURE E.W. (1903-1904)
"Quelques perfectionnements apportés à la construction des palais artificiels", La parole, 422-424.
- SHIBATA S. (1968)
"A study of dynamic palatography", Ann. Bull. Res. Inst. Logop. Phoniat., Univ. Tokyo, 2 : 28-36.
- STETSON R.H., HUDGINS C.V., MOSES E.R.Jr. (1940)
"Palatograms change with rates of articulation. A study of synchronous kymographic and palatographic records", Archives néerlandaises de Phonétique Expérimentale, 16, 52-62.
- STRAKA G.
Album phonétique, Québec, les presses de l'université Laval, 34p + 136 planches.
- STRENGER F. (1961)
Odontologisk fonetik, Nordisk Klinisk Odontologi.
- SUCKLING E.E. (1961)
Bioelectricity, New-York, Mac Graw-Hill, 215 p.
- TATSUMI I.F. (1972)
"Some computer techniques for dynamic palatography", Ann. Bull. Res. Inst. Logop. Phoniat., Univ. Tokyo, 6, 15-18.
- TESTON B. (1976)
"Description d'un système de mesure des paramètres articulatoires", Travaux de l'Institut de Phonétique d'Aix, 3, 151-207.
- TOBEY G.E., GRAEME J.G., HUELSMAN L.P. (1972)
Operational Amplifiers Design and Applications, New-York, Mac Graw Hill, 475p.

- WILLEMS L.F. (1970)
"Measuring circuit for tongue and lip closure duration" I.P.O.
Annual Progress Report, Eindhoven, 5 : 185-187.
- WITTING C. (1953)
"New Techniques of Palatography", Studia Linguistica, 7, (I) : 54-58.
- WITTING C. (1965)
"Somatische Bedingung der Aussprache und phonetische Methode"
Z. für Phonetik, 18 : 347-366.
- WOLF M.B., FLETCHER S.G., Mc CUTCHEON M.J. and HASEGAWA A. (1976)
"Medial groove width during /s/ sound production", Research Reports,
1, 1, Department of Biocommunication, University of Alabama in Birmingham.